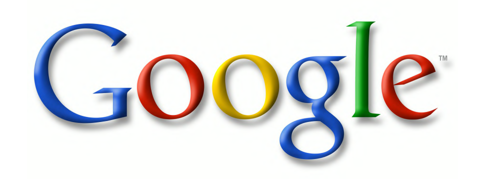
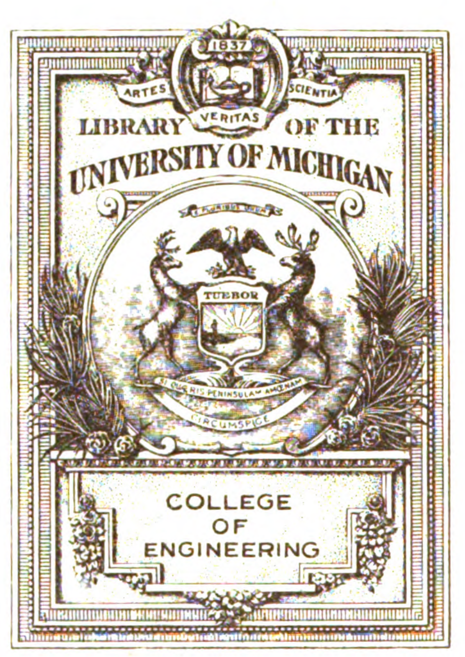






1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE
COLLEGE
OF
ENGINEERING



1re ANNÉE. — N° 1. JANVIER 1925. PRIX... 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE.
3 RUE THÉNARD, PARIS, Ve

Prix de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger......... 44 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

AVIS

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une Commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette Commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VII[e].

Membres de la Commission :

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

…éorie et construction des appareils récepteurs

DE LA TÉLÉPHONIE SANS FIL

…ES ONDES ET SPÉCIALEMENT POUR L'ONDE DE 450 MÈTRES (*suite*) (1)

Par M. VEAUX,
Ingénieur des Postes et Télégraphes.

II. CONSTRUCTION DES CONDENSATEURS VARIABLES.

…nstruction d'un condensateur variable en partant de pièces …chées. — On trouve dans le commerce toutes les pièces …ées permettant de construire un condensateur variable …capacité donnée ; la figure 1 représente un condensateur de … monté avec les pièces détachées représentées sur la …ure 2 ; il est facile de dresser un devis approximatif de ces …èces ; les plaques mobiles d'aluminium (pièce n° 20) ont une

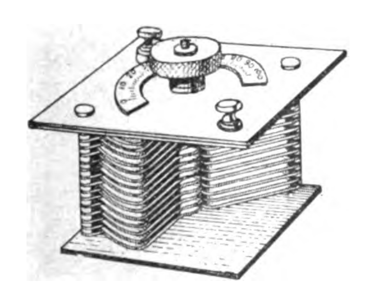


Fig. 1.

… d'environ 8/10 de mm. et un diamètre de 9 cm ; les … taraudées de séparation entre plaques de même arma-

---

(1) …y. *Annales des P. T. T.*, nov. et déc. 1923 ; janv., févr., mars, mai, …, août 1924.

ture (pièce n° 3 pour armature mobile et n° 5 pour armature fixe), une épaisseur de $2^{mm},6$; la séparation e entre plaques mobiles et fixes est :

$$e = \frac{0,26 - 0,08}{2} = 0,09,$$

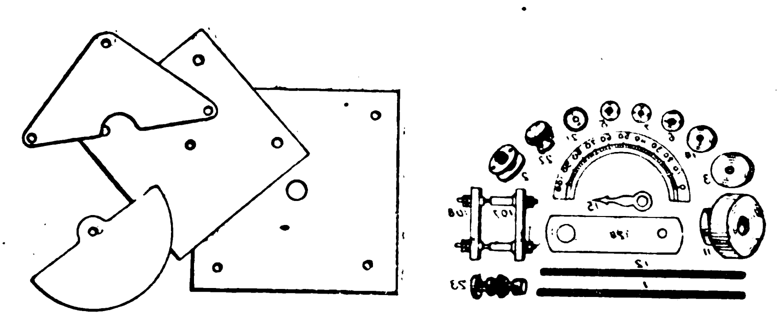


Fig. 2.

et, avec 10 plaques mobiles de 9^{cm} de diamètre, on obtient une capacité de 6,2/10.000 ; pour obtenir 1/1.000 il faut prendre $10 \times \frac{10}{6,2} = 16$ plaques mobiles et par conséquent 17 plaques fixes. Trois tiges filetées latérales (pièce n° 12) enserrent en un bloc indéformable les plaques d'ébonite de dessus et de dessous (pièces n°s 17 et 18) ainsi que les 17 plaques fixes (pièce n° 19) séparées par les rondelles taraudées n° 5 ; l'armature mobile est formée de 16 plaques montées sur une tige filetée et séparées par des rondelles taraudées (pièce n° 3).

Condensateurs de précision. Condensateurs pour ondes courtes. — Pour des mesures de précision, il est parfois nécessaire d'utiliser un système de commande de l'armature mobile extrêmement précis ; on utilise alors une commande micrométrique telle que celle réprésentée figure 3 ; le bouton d'entraînement A permet des déplacements angulaires rapides ; la commande micrométrique (déplacement angulaire de 12 degrés) a lieu par la rotation du bouton B.

Il existe de même des condensateurs variables à capacité variable additionnelle disposée en parallèle (fig. 4) ; un premier

bouton A entraîne la majorité des lames mobiles *a*, et un petit déplacement produit une variation relativement importante de la capacité ; un deuxième bouton B entraîne quelques lames mobiles *b* seulement, naturellement en relation avec les lames *a* ; un grand déplacement angulaire B correspond donc à une faible variation de capacité ; donnons à titre d'exemple quelques chiffres :

Capacité	principale....	2/10.000	de microf.
—	additionnelle..	3/100.000	—
—	principale.....	5/10.000	—
—	additionnelle..	5/100.000	—
—	principale.....	1/1.000	—
—	additionnelle..	1/10.000	—

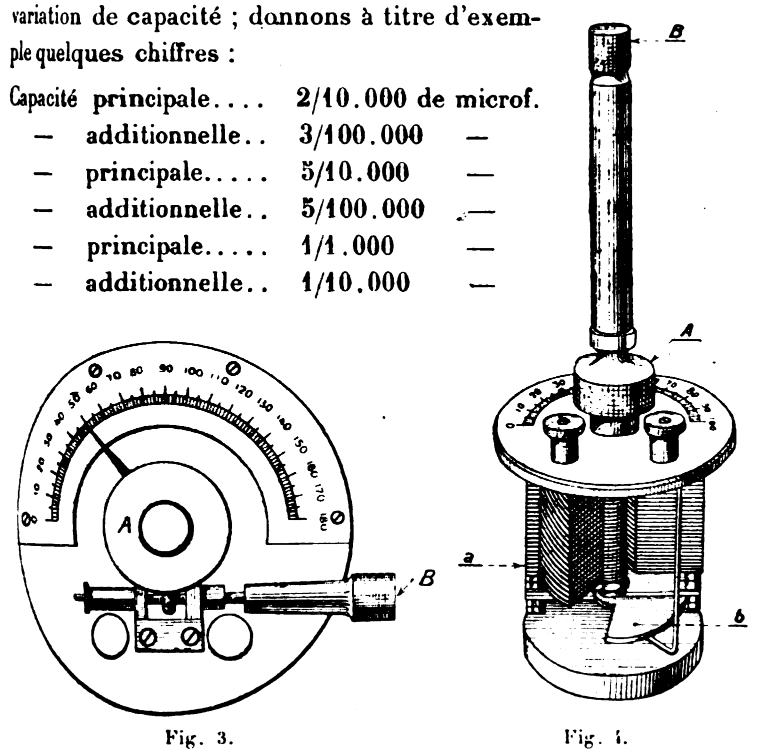


Fig. 3. Fig. 4.

Qualités que doivent avoir les condensateurs réels. — De même que les enroulements appelés selfs possèdent certains défauts à éliminer : résistance et capacité entre spires ; de même les condensateurs réels présentent certains défauts et ne peuvent être caractérisés uniquement par la valeur de leur capacité.

En effet, dans tout condensateur il y a dissipation d'énergie dans le diélectrique qui sépare les armatures ; si la construction est mauvaise, cette dissipation d'énergie peut devenir très importante et diminuer considérablement les propriétés sélectives du

circuit oscillant dont il fait partie ; la résistance d'un condensateur définie (1) par ce quotient $\frac{P}{i^2}$ de la puissance qu'il absorbe par le carré de l'intensité qui le traverse, est très variable suivant le type d'appareil et compris entre 0°, 2 et 5 ohms pour le condensateurs normaux.

Les pertes dans le diélectrique d'un condensateur varient d'ailleurs suivant la fréquence du courant qui le traverse ; dans un condensateur variable à air, elles ont lieu dans le diélectrique solide qui sépare les armatures, dans les rondelles de mica, d'ébonite ou même de verre qui isolent l'armature fixe de l'armature mobile, dans le tube d'ébonite qui isole de l'armature fixe la borne extérieure liée d'autre part au moyen d'une connexion souple avec la partie mobile ; s'il est bon de diminuer le volume du diélectrique, il ne faut pas exagérer au point de réduire considérablement l'épaisseur de diélectrique qui sépare les armatures ; dans ce cas, en effet, le champ électrique à l'intérieur du diélectrique étant élevé, les pertes proportionnelles au carré de ce champ risqueraient de devenir considérables ; il faut, en définitive, que le chemin le plus court pour passer d'une armature à l'autre en passant par le diélectrique solide soit relativement long (4 centimètres environ).

A ce point de vue, il existe un bon type de condensateur à axe court qui traverse une plaque en ébonite sur laquelle l'armature fixe est maintenue par les colonnettes ; pour passer d'une armature à la suivante, on parcourt un chemin de plusieurs centimètres.

On voit encore qu'il est préférable dans les condensateurs fixes d'utiliser des épaisseurs pas trop faibles de diélectrique, quitte à augmenter la surface S.

Les condensateurs variables présentent enfin toujours une capacité résiduelle qu'il est bon de réduire au minimum et qui atteint environ le vingtième de la capacité maximum. Enfin, au point de vue mécanique, il est naturel que la distance, déjà très

(1) Il ne s'agit donc pas de la résistance d'isolement entre armatures.

faible, entre armatures, doit rester bien constante et que le jeu de la partie mobile doit être strictement réduit si l'on désire obtenir des réglages bien fixes.

A ce point de vue, les condensateurs dont la plaque supérieure est entièrement en ébonite et qui possèdent, nous l'avons vu, une supériorité sur ceux qui comportent une plaque métallique, leur sont peut-être légèrement inférieurs en ce qui concerne le jeu dans les pivots, l'ébonite étant susceptible de s'user à la suite d'un long usage du condensateur.

III. COUPLAGE DES CONDENSATEURS.

Divers modes de couplage des condensateurs. — On peut coupler plusieurs condensateurs d'un grand nombre de façons que l'on peut classer ainsi :

1° Couplage en parallèles ;

2° Couplage en série ;

3° Couplage mixte ou en séries parallèles.

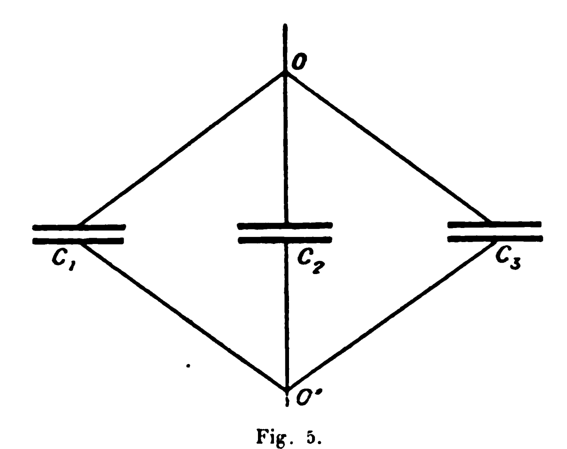


Fig. 5.

Couplage de condensateurs en parallèle. – Considérons un certain nombre de condensateurs de capacités C_1, C_2, C_3 et de résistance R_1, R_2, R_3.

Les grouper en parallèle consiste à réunir une armature de chacun d'eux à un même point O (fig. 5), l'autre armature étant

réunie à un point O′ ; l'ensemble des condensateurs ainsi groupés pourra être remplacé par un condensateur unique de capacité C égale à la somme des capacités de chacun d'eux et de résistance R égale à la somme de leurs résistances.

Ex : Le condensateur équivalent à trois condensateurs de capacités respectives égales à 3/10.000, 5/10.000, 1/1.000 et de résistances égales à 3 ohms, 2^{O}, 5 et 1 ohm possède une capacité $C = 3/10.000 + 5/10.000 + 1/1.000 = 18/10.000$ de microfarad et une résistance $R = 3 + 2,5 + 1 = 6^{O}, 5$.

Ce mode de couplage est utilisé lorsque la capacité d'un condensateur seul est suffisante, pour obtenir, par exemple, l'accord sur une longueur d'onde donnée.

Il y a cependant avantage à employer un seul condensateur de forte capacité, plutôt que plusieurs condensateurs couplés en parallèle.

Couplage de condensateurs en série. — Ce mode de couplage représenté sur la figure 6 consiste à réunir les armatures de telle façon que pour passer de O en O′ on traverse les trois épaisseurs de diélectrique ; les trois condensateurs C_1, C_2, C_3 peuvent être remplacés par un condensateur unique de capacité C telle que :

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}.$$

La résistance de ce condensateur équivalent est plus petite que la résistance de chacun de ces condensateurs ; en effet, comme la différence de potentiel se partage, le champ électrique est plus faible dans chacun d'eux.

En particulier, si plusieurs condensateurs identiques de capacité C sont disposés en série, la capacité c du condensateur équivalent est égale à celle d'un condensateur divisée par le nombre de ceux-ci : de même la résistance du condensateur équivalent est égale à celle d'un seul divisée par le nombre de ceux-ci.

Ex : 3 condensateurs identiques de capacités égales à 2/1.000 de microfarad et de résistance égale à 2 ohms sont cou-

plés en série. Calculer la capacité et la résistance du condensateur équivalent.

La capacité cherchée est égale à :

$$\frac{2}{1.000} : 3 = \frac{6,6}{10.000} \text{ de microfarad.}$$

La résistance cherchée est $\frac{2}{3} = 0^{\Omega}, 66.$

On utilise rarement, à la réception, des condensateurs en série ; ce mode de couplage permet, il est vrai, une plus grande précision de réglage, une même rotation donnant lieu à une variation plus faible de la capacité équivalente ; c'est ainsi que, si une rotation de 90 (cadran divisé en 180°), fait varier, dans l'exemple ci- dessus, la capacité d'un condensateur de 1/10.000 de microfarad, la capacité équivalente des trois condensateurs en série ne varie que de 1/30.000 pour la même rotation effectuée sur l'un quelconque des condensateurs.

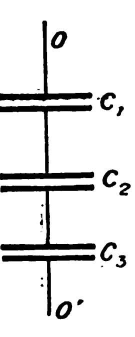


Fig. 6.

Couplage en séries parallèles ou couplage mixte. — C'est une combinaison des deux précédents ; la figure 7 représente le cou-

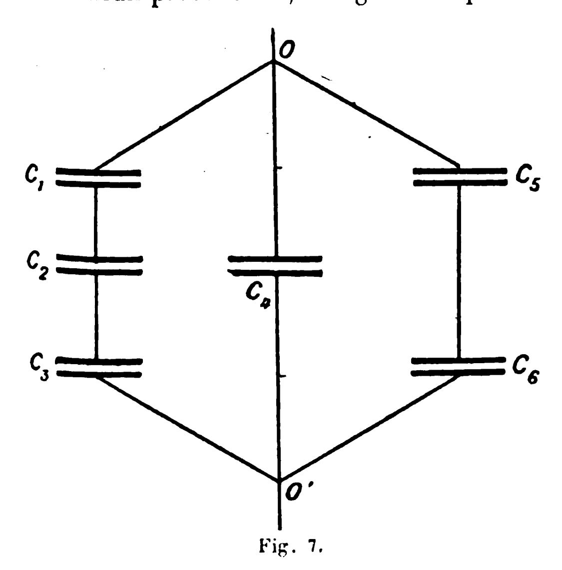


Fig. 7.

plage de cinq condensateurs en trois séries parallèles ; calculer la capacité équivalente ; il suffit d'additionner les capacités des trois séries, calculées comme il est indiqué ci-dessus.

Ex. : $C_1 = C_2 = C_3 = 3/1.000$

$C_4 = 1/1.000$

$C_5 = C_6 = 2/1.000$

La capacité équivalente à C_1, C_2, C_3 est égale à :

$$\frac{3}{1.000} : 3 = \frac{1}{1.000}$$

La capacité équivalente à C_5, C_6 est égale à :

$$\frac{2}{1.000} : 2 = \frac{1}{1.000}$$

La capacité équivalente à l'ensemble est :

$$x = \frac{1}{1.000} + C_4 + \frac{1}{1.000} = \frac{3}{1.000} \text{ de microfarad.}$$

QUELLES SONT LES ERREURS QU'IL FAUT ÉVITER DANS L'ÉTABLISSEMENT D'UN POSTE RÉCEPTEUR RADIOTÉLÉPHONIQUE POUR L'ONDE DE 450 MÈTRES

Par P. BAIZE,
Ingénieur des Postes et Télégraphes.

(*fin*) (1).

B. CIRCUITS A BASSE FRÉQUENCE.

Les circuits à basse fréquence comprennent l'ensemble des appareils placés *après le détecteur.* Le rôle du détecteur étant, comme nous l'avons vu précédemment, de faire apparaître la *fréquence de modulation* des oscillations recueillies par le collecteur d'ondes, tout en éliminant la haute fréquence de ces oscillations, les caractéristiques de ces circuits à basse fréquence *sont absolument indépendants de la longueur d'onde* utilisée. L'emploi de l'onde de 450 mètres pour les émissions de l'École Supérieure n'implique donc, pour les auditeurs, aucune précaution spéciale relativement aux appareils à basse fréquence : de semblables appareils, provenant d'un récepteur établi pour une onde très différente — plus grande ou plus faible — peuvent parfaitement convenir pour un récepteur construit pour 450 mètres.

Dans les postes de réception simplifiés, le seul appareil basse fréquence utilisé est l'écouteur téléphonique. On accouple généralement deux écouteurs, que l'on relie l'un à l'autre au moyen d'une lame-ressort, et l'on obtient ainsi l'appareil bien connu sous le nom de *casque téléphonique.*

Le casque téléphonique, qui est l'un des éléments essentiels d'un poste récepteur, mérite d'être bien étudié, tant au point de vue mécanique qu'au point de vue électrique. Au point de vue

(1) Voy. nos juin, août, octobre 1923, février, juin, octobre 1924.

mécanique, il faut vérifier avec soin le serrage et la position de la membrane de chaque écouteur.

Une membrane mal serrée vibre mal : il faut donc assurer ce serrage en intercalant, si le besoin s'en fait sentir, une ou plusieurs rondelles entre le pavillon et la membrane. Il faut, d'autre part, assurer un écartement convenable entre la membrane et le noyau d'acier aimanté : un écartement trop grand est nuisible à la sensibilité ; un rapprochement excessif risque d'amener la membrane au contact de l'aimant, ce qui rendrait impossible toute vibration libre. En tapant légèrement avec le doigt sur la membrane, on arrive rapidement, avec un peu d'expérience, à se rendre compte de l'importance de l'écartement de la membrane et du noyau aimanté. S'il y a lieu, on peut régler cet écartement en modifiant l'épaisseur des rondelles intérieures, comprises entre la membrane et le boîtier métallique.

On arrive ainsi, par tâtonnements successifs, à trouver le réglage le plus satisfaisant.

Au point de vue électrique, la construction des écouteurs doit satisfaire à des conditions bien définies : le courant qui parcourt un casque de réception radiotéléphonique est toujours un courant *faible* : il provient, soit directement de l'induction du poste émetteur — dans le cas du récepteur à galène, — soit de la pile du circuit de plaque, dans le cas d'une réception par lampe. Pour permettre à ce courant de produire un effet sensible sur le noyau aimanté, il faut augmenter le nombre d'ampère-tours en multipliant les spires : il faut donc que le bobinage ait un très grand nombre de tours. Le fil enroulé sur l'aimant est donc très long et comme il doit occuper un volume restreint il faut qu'il soit très fin : les casques de T.S.F. ont donc une forte résistance, en même temps qu'une forte self. Cette résistance et cette self doivent être *adaptées* aux constants électriques du circuit dans lequel est placé le casque — résistance apparente de la galène ou du circuit filament-plaque. — Aussi utilise-t-on, en pratique, des casques dont la résistance varie de 4.000 à 8.000 ohms pour les postes à lampe, et de 500 à 1.000 ohms pour la galène. Au cas où l'on désire utiliser deux casques, il

est préférable de les connecter en série, plutôt qu'en dérivation.

Bien entendu, la résistance indiquée pour un casque ne donne une indication, au point de vue de la sensibilité, que *si l'enroulement est bobiné avec du fil de cuivre* : il serait absolument vain d'escompter une grande sensibilité d'un casque bobiné au moyen de fil résistant — maillechort par exemple. — Il est clair, en effet que la résistance indiquée serait ainsi obtenue au moyen d'un nombre de tours relativement très faible, et que l'action magnétisante sur le noyau aimanté serait, de ce fait, fort minime. Avant d'acquérir un casque, il est donc recommandé de demander au fournisseur des précisions formelles à cet égard.

Une autre précaution à prendre, lors de l'emploi d'un casque monté sur une réception par lampes, consiste à s'assurer que le casque ne peut subir, du fait du courant permanent filament-plaque, aucun effet démagnétisant. Dans une réception par lampe, on sait que le pôle positif de la pile haute tension est connecté à la plaque, le pôle négatif se trouvant relié au point commun. Lorsque la lampe est allumée, le bombardement électronique de la plaque permet l'établissement d'un courant filament-plaque circulant dans le sens de la flèche. Il faut donc que le casque soit branché de manière à ce que ce courant permanent de sens bien défini, parcourant les bobines des écouteurs, *ne puisse pas créer*, dans les noyaux aimantés, *un champ magnétique permanent de sens opposé* à celui de l'aimantation de l'acier.

Pour repérer le sens convenable de la connexion du casque — lorsque ce sens de connexion n'est pas indiqué par le constructeur —, il importe de procéder de la manière suivante : on dévisse les pavillons, sans toucher aux rondelles qui doivent normalement se maintenir en place d'elles-mêmes, grâce à l'action de la force magnétique. Puis on connecte le casque aux bornes d'un élément d'accumulateur de manière à y faire passer un petit courant continu. Si le sens de ce courant produit une diminution de l'aimantation des noyaux, les rondelles tombent d'elles-mêmes, ou peuvent tout au moins être écartés du boitier presque sans effort. Si le courant, au contraire, a pour effet de renforcer

l'aimantation, on sent une adhérence accrue entre la rondelle et le boîtier.

Il arrive parfois que, par suite d'un défaut de montage du casque, un même courant produit un renforcement du magnétisme de l'un des écouteurs, et une diminution du magnétisme de l'autre : pour remédier à ce défaut, il suffit d'inverser les connexions aboutissant à l'un quelconque des deux écouteurs, sans toucher à l'autre. On constate, après cette inversion, que cette dissymétrie a disparu, et que l'on se retrouve dans les conditions habituelles. On repère avec soin le sens du courant qui produit une *augmentation* du magnétisme des aimants, en marquant, par exemple, un signe + au fil du cordon relié au pôle positif de l'élément d'accumulateur. En connectant ce fil au pôle positif de la batterie haute tension d'un récepteur à lampes, et en reliant à la plaque l'autre fil du cordon, on sera sûr d'éviter toute désaimantation du casque par suite du courant permanent du circuit filament-plaque.

Amplificateurs à basse fréquence. — Lorsque l'on estime que l'intensité des sons produits dans un casque, à la sortie du détecteur, n'est pas suffisante pour donner une très bonne audition, ou lorsque l'on veut remplacer le casque par un récepteur téléphonique haut-parleur, on intercale, entre le détecteur et le récepteur téléphonique, un amplificateur à basse fréquence.

Il ne faut pas demander à cet amplificateur de faire apparaître des transmissions complètement inaudibles : mais seulement de rendre plus forte l'intensité de sons déjà perceptibles après détection : il joue en acoustique, le rôle rempli, en optique, par un verre grossissant. Agissant directement sur les courants de fréquence sonore, il donne pour les sons audibles, une amplification supérieure à celle que l'on aurait obtenue en augmentant le nombre des étages d'amplification haute fréquence, placés avant le détecteur. Une bonne réception doit donc comporter un amplificateur haute fréquence puis, après le détecteur, un amplificateur basse fréquence, les rôles de ces deux amplificateurs étant essentiellements différents.

Le procédé le plus simple, pour réaliser un amplificateur basse fréquence, consiste à employer l'amplificateur à résistances : on prendra toutefois la précaution d'augmenter la valeur des capacités de liaison, car on ne recherche ni la détection, ni l'amplification haute fréquence : une bonne valeur de ces capacités, pour l'amplification des courants de fréquence musicale, est de $\frac{5}{1000}$ à $\frac{10}{1000}$ de microfarad. De plus, il est recommandé de prendre, comme valeur des résistances de fuites qui relient la grille de chaque lampe à l'un des pôles du filament une valeur inférieure à celle que l'on emploie en général dans les amplificateurs haute fréquence à résistances. Ceci est dû à ce que, dans le cas de la basse fréquence, les courants que l'on rencontre, surtout dans les derniers étages, arrivent à être beaucoup plus intenses que ceux que l'on trouve dans les amplificateurs haute fréquence, et qu'il est nécessaire de conserver aux grilles le potentiel convenable. Une bonne valeur de résistance de fuite est de 2 mégohms à 500.000 ohms.

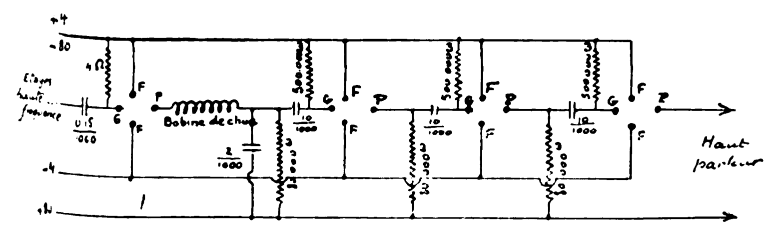


Fig. 1. — Amplificateur à basse fréquence à résistances.

A part ces différences de valeur des capacités et résistances, le montage d'un amplificateur basse fréquence à résistances est absolument identique à celui d'un amplificateur haute fréquence à résistances, précédemment décrit. La résistance de fuite est connectée au pôle positif du filament.

Il est possible de mettre un grand nombre des lampes en cascade, pour constituer un amplificateur à résistances puissant : en employant une disposition convenable, conforme à celle de la figure 1, on évite toute réaction de la sortie sur l'entrée et aucun accrochage spontané n'est à craindre. Bien entendu, pour que

ceci soit exact, il est indispensable que la source de tension plaque soit sans résistance interne ; on diminue beaucoup la résistance pour la composante alternative du courant en shuntant cette source de tension par un fort condensateur de plusieurs microfarads.

Lorsque l'on veut employer un amplificateur basse fréquence à résistances après un amplificateur haute fréquence du même type, il ne faut pas oublier que l'amplificateur basse fréquence, pouvant également amplifier les hautes fréquences, il est prudent de se débarrasser de celles-ci avant l'entrée de l'amplificateur basse fréquence, afin d'éviter les accrochages spontanés d'oscillations entretenues de haute fréquence. On arrive facilement au résultat cherché en shuntant par des condensateurs de $\frac{2}{1000}$ microfarad les résistances de plaque (80.000 ohms), tout au moins dans les premiers étages d'amplification basse fréquence : le courant haute fréquence sortant d'une des lampes s'écoulera ainsi facilement, sans produire, aux bornes de la résistance plaque, une appréciable différence de potentiel à haute fréquence, et la grille de la lampe suivante ne sera donc guère affectée par lui.

On peut également placer en série avec la capacité de liaison une bobine de choc haute fréquence — constituée, par exemple, par une très forte bobine nid d'abeille —, laquelle barre la route à la haute fréquence et laisse passer la basse.

Enfin, si l'on veut utiliser l'amplificateur basse fréquence à résistances à produire du très fort haut-parleur, il faut recourir à des tensions plaque élevées : des voltages allant jusqu'à 600 volts ont été parfois utilisés.

Lorsque l'on ne dispose que de tensions plaque normales, on emploie, de préférence, *l'amplificateur basse fréquence à transformateurs*. Le montage d'un tel transformateur est fort simple (fig. 2).

On intercale dans le circuit plaque d'une lampe le *primaire* du transformateur (enroulement le moins résistant), et dans le circuit grille de la lampe suivante le *secondaire* (enroulement le

plus résistant). Les résistances et les self-inductions des enroulements sont réglées de manière à être adaptées à leur circuits respectifs. C'est ainsi que le secondaire d'un transformateur de liaison entre une lampe et la suivante est pris généralement *trois fois plus résistant* que le primaire. On a ainsi un transformateur *de rapport 3*, si les deux enroulements sont bobinés avec du

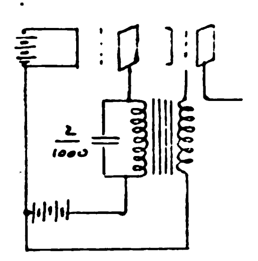


Fig. 2. — Montage d'un transformateur à basse fréquence.

fil de même diamètre. Certains constructeurs prennent un transformateur *de rapport 5* pour coupler la lampe détectrice avec la première lampe basse fréquence.

Pour coupler un détecteur à galène avec une lampe basse fréquence, on prend un transformateur de rapport 10, en raison de la résistance apparente relativement faible de la galène.

Le primaire d'un transformateur intercalé dans le circuit d'une galène, ou dans le circuit plaque d'une lampe détectrice doit être shunté par un condensateur de $\frac{2}{1000}$ mf. : il faut, en effet ménager un passage aux courants de haute fréquence qui circulent dans ces circuits, et qui ne doivent pas pénétrer dans le transformateur. La capacité propre de l'enroulement primaire du transformateur pourrait, à la rigueur, suffire à les laisser passer, mais on aurait toujours à craindre la production, à l'intérieur du transformateur, de petites étincelles susceptibles de compromettre l'isolement des spires.

Il est même un cas, particulièrement remarquable, où l'oubli du condensateur en parallèle sur le primaire peut compromettre entièrement le fonctionnement du poste récepteur : c'est celui de la lampe détectrice à réaction suivie d'étages d'amplification basse fréquence à transformateurs.

Supposons (fig. 3) que la primaire du transformateur ait été intercalé entre la plaque de la lampe détectrice et la bobine de réaction, et que la premières spires de l'enroulement primaire, comptées à partir de l'entrée côté plaque, soient placés, dans le bobinage du transformateur, à proximité des premières spires de l'enroulement secondaire, côté point commun. Une telle disposition, en raison de l'existence d'une capacité résultant du voisinage des spires primaires et secondaires, donne lieu à une dérivation du courant de haute fréquence, lequel, partant de la plaque, retourne en grande partie au point commun à travers la capacité

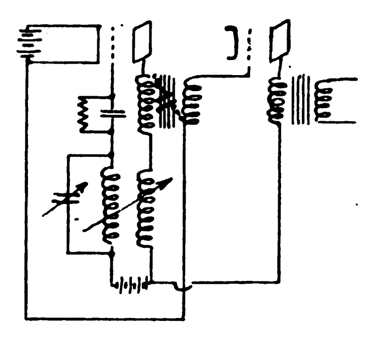


Fig. 3. — Lampe à réaction suivie d'étages basse fréquence à transformateurs.

des enroulements, sans traverser la bobine de réaction. De ce fait, le phénomène de réaction peut ne plus avoir lieu ou, tout au moins, ne se produire qu'avec une grande difficulté.

La présence d'un condensateur de $\frac{2}{1000}$ aux bornes de l'enroulement primaire fait disparaître l'inconvénient signalé, en raison de la facilité qu'il donne, aux courants de haute fréquence, de suivre leur parcours normal.

Les capacités parasites des transformateurs basse fréquence présentent un autre inconvénient grave : elles peuvent constituer, avec la self-induction des bobines, des circuits oscillants, susceptibles d'engendrer, en raison de réactions inévitables, des oscillations entretenues à note musicale. On dit alors que l'amplificateur *siffle*. C'est ce qui a généralement lieu pour un amplificateur basse fréquence dont une grille est déconnectée.

Un transformateur basse fréquence bien construit devra donc éviter, autant que possible, les capacités parasites entre enroulements : le primaire devra être nettement séparé du secondaire, et le bobinage sera fait, avantageusement, au moyen d'un assemblage de galettes plates.

Le fil de l'enroulement primaire doit avoir un diamètre suffisant pour supporter à coup sûr le courant permanent du circuit plaque, sans que l'on ait à craindre une rupture : du fil de $\frac{6}{100}$ mm. donne une sécurité suffisante pour l'enroulement primaire du premier transformateur, si le diamètre est bien constant et s'il n'y a pas de points faibles, exposés à s'échauffer et à produire une coupure amenant l'arrêt de fonctionnement du transformateur.

Les transformateurs sont parcourus également, en régime de fonctionnement, par un courant alternatif à fréquence sonore dont l'intensité, surtout dans les derniers étages d'amplification, est fort loin d'être négligeable. Des transformateurs bien construits doivent tenir compte de ce fait, et être bobinés avec des fils de diamètre croissant, à mesure que l'on s'éloigne du détecteur.

En outre, lorsque les variations de courant plaque deviennent intenses, les variations correspondantes de potentiel grille deviennent également assez fortes, et provoquent de trop grandes variations de part et d'autre du potentiel moyen. Une telle variation de potentiel est nuisible à la conservation de la qualité du son : une alternance positive trop forte amène un débit de la grille, et un amoindrissement de l'amplification, tandis qu'une alternance négative ne produit pas le même phénomène. Il en résulte une certaine déformation du son, tout à fait nuisible à une bonne audition. On peut remédier à cet inconvénient en portant systématiquement la grille à un potentiel négatif, au moyen d'une pile auxiliaire de 3 à 6 volts, intercalé entre la grille et le point commun (qui sera pris au — du filament), le pôle négatif de cette pile auxiliaire étant réuni à la grille (fig. 4). Dans ces conditions, les variations de tension de la grille restent le plus souvent inférieures à la force électromotrice de cette pile auxiliaire,

et le potentiel de la grille ne peut jamais prendre une valeur positive suffisante pour amener un débit appréciable.

Les réactions qui si elles sont trop fortes provoquent des oscillations, peuvent pour des valeurs moindres augmenter la sensibilité, mais elles produisent toujours une forte distorsion de la parole.

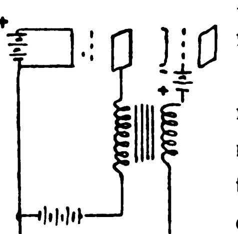


Fig. 4. — Emploi d'une force électromotrice négative pour fixation du potentiel de grille.

Nous terminerons cette chronique par un mot relatif aux haut-parleurs : un grand nombre de ceux-ci ne diffèrent des écouteurs téléphoniques que par la grosseur des noyaux et du bobinage. Les remarques faites à propos des écouteurs sont donc applicables, principalement en ce qui concerne la polarité à repérer. D'autres, du modèle « électrodynamique », sont constitués par une bobine qui est rendue mobile dans le champ d'un puissant aimant, et dont le déplacement reproduit les sons musicaux. Comme les bobines utilisées doivent être légères, elles sont généralement peu résistantes. Il convient alors d'éviter soigneusement de les intercaler directement dans le circuit plaque car elles ne pourraient pas avoir, dans ces conditions, un fonctionnement satisfaisant, et de les brancher à la sortie d'un transformateur, dont les enroulements ont été spécialement calculés.

On reproche souvent aux récepteurs haut-parleurs de produire une déformation regrettable de la parole et des sons musicaux. S'il est vrai que la perfection ne semble pas encore avoir été atteinte, on doit reconnaître qu'une réception en haut-parleur provenant d'un poste bien établi, construit non pas au hasard, mais par l'observation, dans tous les points des règles de la technique, permettra toujours des auditions beaucoup plus nettes, plus distinctes, que celles qui seront obtenues à l'aide d'un dispositif réalisé sans directives. Un grand nombre d'erreurs peuvent être commises dans l'établissement d'un récepteur radiotéléphonique : nous espérons que la lecture de ces articles aura mis en garde le lecteur.

L'ADMINISTRATION CENTRALE
DES POSTES ET TÉLÉGRAPHES EN ANGLETERRE

Par E. QUÉNOT,
Sous-chef de bureau des Postes et Télégraphes.

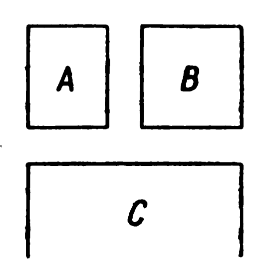
I. — LES LOCAUX.

L'administration centrale (secretary's office), installée en plein cœur de Londres (la Cité), occupe un bâtiment qui fait partie d'un groupe de trois immeubles :

A. Secretary's office,

B. Bureau central télégraphique,

C. Direction des services postaux de Londres et de Londres EC.



Le bâtiment A abrite le Secretary's Office et une partie seulement de la direction de la comptabilité (Accountant General's department) ; le reste de ce très important service est dispersé dans divers locaux de Londres (1).

Quant au directions des articles d'argent (Money order department) et de la caisse d'épargne (Savings Bank department), qui d'ailleurs ne font pas partie du Secretary's Office, elles sont installées respectivement à Manor Gardens (Holloway N. 7) et à Blythe Road (West Kensington W. 14).

Deux ascenseurs desservent le bâtiment, du 2e sous-sol au 4e étage. Un effectif important de « messengers » (125) reçoivent les visiteurs, portent les papiers, etc. Les relations intérieures sont

(1) Avant la guerre, le Post Office avait acheté un terrain contigu aux bâtiments actuels pour construire un édifice où aurait été installée la direction de la comptabilité (2275 agents). La guerre a fait ajourner ce projet et, par raison d'économie, le terrain a été revendu.



d'ailleurs beaucoup favorisés du fait que chaque direction (branch) de l'Administration centrale a tous ses bureaux au même étage.

Le mobilier est très simple, même chez les chefs, pas de papier aux murs, mais de la peinture lavable. Dans les bureaux des chefs, une carpette très ordinaire.

Le chauffage central existe dans les couloirs et dégagements, mais toutes les pièces sont chauffées au charbon de terre, brûlé sur une grille dans la cheminée.

Ceux qui sont allés en Angleterre n'ont pas été sans remarquer les précautions particulières prises contre l'incendie. Dans tous les couloirs du General Post office et dans les bureaux de poste, quatre ou cinq seaux d'eau sont suspendus. En outre, un poste d'incendie, installé au General Post Office, comprend un chef pompier (chief fireman) et 15 pompiers (firemen).

II. — ORGANISATION GÉNÉRALE ET ATTRIBUTIONS.

L'organisation générale.

Le tableau A ci-joint indique, sous une forme schématique, l'organisation générale du Secretary's Office.

Postmaster general. — Le *postmaster general* fait partie du ministère. Il est le chef responsable de la marche générale des services au regard du parlement.

Il n'a pas, à proprement parler, de cabinet ou de service central comme le Sous-Secrétaire d'État en France, mais seulement :

1 secrétaire (1), fonctionnaire du Post office ; c'est généralement un assistant principal (chef de bureau adjoint), qui reçoit, à ce titre, une indemnité supplémentaire de 200 livres par an ;

1 attaché ;

1 secrétaire privé (personal private secretary).

Secretary et second secretary. — *Le secretary* est le directeur général du Post Office. Avec le concours du *second secretary*, il contrôle la marche générale des services et renseigne le postmaster general. Le second secretary est plus particulièrement

(1) Il ne s'agit pas ici du Secretary qui est le directeur général du Post office, et dont il va être parlé au paragraphe suivant.

TABLEAU A.

ORGANISATION GÉNÉRALE DU SECRETARY'S OFFICE.

Postmaster general

Secretary (Secrétaire)

Second Secretary (2e Secrétaire)

Under the Secretary:

- Mails branch (Directeur des services postaux)
  - 1 assistant secretary
    - 5 principals (chefs de bureau)
- Telegraph and Telephone branch (Directeur des télégraphes et des téléphones)
  - Telegraph branch
    - 1 assistant secretary
      - 3 principals (chefs de bureau)
  - Telephone branch
    - 1 assistant secretary
      - 3 principals (chefs de bureau)

Under the Second Secretary:

- Staff branch (Personnel)
  - 1 assistant secretary
    - 3 principals (chefs de bureau)
- Establishments branch (Etablissements)
  - 1 assistant secretary
    - 3 principals (chefs de bureau)
- Buildings and Supplies branch (Bâtiments et approvisionnements)
  - 1 assistant secretary
    - 2 principals (chefs de bureau)

chargé des trois branches : Personnel, Établissements, Bâtiments.

Ni le secrétaire ni le second secrétaire n'ont de cabinet ni de service central.

Le secrétaire actuel n'a pas 45 ans ; nommé en 1914, il appartenait, avant, à la régie des contributions indirectes. Il a auprès de lui un secrétaire privé (private secretary), fonctionnaire du grade d'assistant principal (indemnité spéciale de 200 livres).

Le second secrétaire actuel a fait toute sa carrière au Secretary's Office ; il est second secrétaire depuis le 1er mars 1919.

Le postmaster general, le secrétaire et le second secrétaire, avec le Secretary's Office, exercent leur action sur l'Angleterre et l'Écosse.

A Edinburgh, il y a cependant un secrétaire. Mais ses attributions ne dépassent guère celles des directeurs de district du reste du territoire, sauf en ce qui concerne la comptabilité ; l'accountant à Edinburgh centralise les écritures des bureaux d'Ecosse comme le comptroller and accountant general à Londres. En laissant un secrétaire pour l'Écosse, on a voulu donner un semblant de satisfaction au particularisme écossais.

Les divisions (branchs). La hiérarchie. Les traitements.

Le Secretary's Office comprend six divisions (branchs) :

1° Mails (Services postaux) ;

2° Telegraph Branch (Services télégraphiques) ;

3° Telephone Branch (Services téléphoniques) ;

4° Staff Branch (Personnel) ;

5° Establishments Branch (Bureaux) ;

6° Buildings and Supplies Branch (Bâtiments et approvisionnements).

La création de la direction des services postaux et de la direction des services électriques est de date récente : 1er juillet 1922. Bientôt sera créée une troisième direction, qui groupera la division du Personnel (Staff Branch) et la division des Établissements (Establishments Branch).

Le General Post Office comprendra ainsi trois grandes direc-

tions (analogues aux directions générales de notre ministère des finances) :

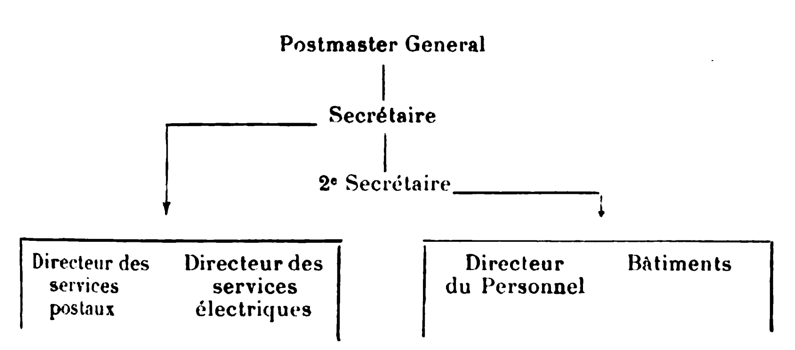
direction des services postaux ;

direction des télégraphes et des téléphones ;

direction du personnel.

Restera en dehors la division des bâtiments. Elle est en réalité très peu importante, par suite de l'existence en Angleterre de l'Office of Works (Office des travaux publics), qui a dans ses attributions tout ce qui concerne les bâtiments des diverses administrations.

L'organisation future sera donc la suivante :



Chacune des six grandes divisions (branchs) comporte des sections. Ce sont les « bureaux » de notre administration centrale. Leur nombre, par branch, figure au tableau ci-dessus.

Nous indiquons ci-après les appellations, la hiérarchie et les traitements des hauts fonctionnaires du Secretary's Office :

	en livres	en francs (or)
1 Posmaster general	2.500	63.000 fr.
1 Secretary (1er secrétaire)	3.000	75.600 —
1 Second Secretary (2e secrétaire)	2.200	55.440 —
1 Director of Postal services (Mails Branch) (Directeur des services postaux)	1.200 à 1.500 par échelons de 100 livres	30.240 fr. à 37.800 fr. par échelons de 2.520 fr.
1 Director of Telegraphs and Telephones.	id	id.
6 Assistant Secretaries (secrétaires adjoints)	1000 à 1.200 par échelons de 50 livres	25.200 fr. à 30.240 fr. par échelons de 1.250 fr.

19 Principals (Chefs de bureau)...........	700 à 900 par échelons de 25 livres	17.640 fr. à 21.680 fr. par échelons de 630 fr.

Les traitements ci-dessus sont ceux qui figurent au projet de budget pour l'année 1923-24, compte non tenu de l'indemnité de cherté de vie.

Le personnel permanent, autre que celui qui est payé d'après le montant du trafic (subpostmasters, c'est-à-dire agents analogues à nos gérants d'agences postales), reçoit une indemnité calculée comme il suit :

Salaires jusqu'à 500 livres par an :

130 °/₀ sur la tranche jusqu'à 91 livres par an ;
60 °/₀ sur la tranche de 108 livres au dessus de 91 livres ;
45 °/₀ sur la somme dépassant 200 livres.

Mais sur le montant de l'indemnité ainsi calculée, on rabat $\frac{9}{26}$.

Salaires au dessus de 500 livres par an :

L'indemnité est calculée comme ci-dessus, mais est sujette à des réductions supplémentaires qui peuvent atteindre de 10 à 60 °/₀ suivant le traitement, celui-ci ne devant pas dépasser 2.000 livres par an, indemnité comprise.

Cette indemnité est sujette à révision tous les six mois. Les taux sus-indiqués sont ceux qui étaient appliqués au 1er janvier 1923.

Attributions générales des divisions (branchs) du Secretary's office.

Mails Branch (Direction des services postaux) (*5 bureaux*). — Les attributions de cette division sont celles de notre direction de l'exploitation postale (moins les bâtiments qui forment une sous-direction spéciale), avec, en plus, la réglementation générale concernant les services accessoires de la poste. Ceci nous explique pourquoi le service des articles d'argent, notamment (Money order department), n'est pas compris dans les attributions des divisions du Secretary's Office.

Telegraph and Telephone Branchs (Direction des Télégraphes et des Téléphones) : *1° Telegraph Branch (3 bureaux)* ; *2° Telephone Branch (3 bureaux)*. — Les attributions de ces divisions correspondent sensiblement à celles de nos directions de l'exploitation télégraphique, de l'exploitation téléphonique, et de la T.S.F.

Staff Branch (Personnel) (*3 bureaux*). — Les attributions de cette division (recrutement, promotions, discipline, pertes et gains aux guichets, occupations interdites aux agents) correspondent, d'une façon générale, à celles des 1er, 2e et 3e bureaux de notre direction du personnel.

Il est à remarquer que la division du personnel en Angleterre, n'a pas dans ses attributions la fixation des traitements, salaires, indemnités, ni la réglementation concernant la durée du travail. Toutes ces questions ressortissent à la division des « Établissements ».

Establishments Branch (Établissements) (*3 bureaux*). — Attributions : cadres, traitements, salaires, échelles de payement des subpostmasters, révision générale des salaires, indemnité de cherté de vie, personnel temporaire et travaux supplémentaires, classification des bureaux, indemnités de repas et de déplacement, durée du travail.

Buildings and Supplies Branch (Bâtiments et approvisionnements) (*2 bureaux*). — *1° Bâtiments*. — Le bureau des bâtiments n'a pas des attributions aussi étendues que notre 5e bureau de l'exploitation postale.

En Angleterre, l'office des travaux publics (Office of Works) a la construction et l'entretien des bâtiments dépendant de tous les ministères, aussi bien en province qu'à Londres. Mais c'est le bureau des bâtiments qui établit les plans. Il est conseillé et aidé dans cette tâche par un service d'architecture, composé d'un architecte, de deux assistants architectes (dont l'un est en résidence à Manchester), et de trois dessinateurs.

Les architectes sont des architectes diplômés, devenus fonc-

tionnaires, et qui n'ont pas de clientèle civile ni de bureau en ville. Le traitement de l'architecte atteint 750 livres et celui des assistants 400 livres.

Les architectes font des inspections dans les locaux du Post Office, pour tout ce qui concerne les réparations, la salubrité et l'hygiène.

Le matériel (1) *et le mobilier de l'Administration centrale* sont fournis et réparés par l'Office of Works qui a, au sous-sol du Secretary's Office, un représentant et des ouvriers. Seules les fournitures de bureau sont livrées pas un autre office, commun à tous les ministères, le Stationery Office (librairie officielle), qui a deux dépôts à Londres, un à Manchester, un à Cardiff et un à Edinburgh.

Il est à remarquer qu'en France nous nous acheminons vers une organisation semblable. La commission des finances de la Chambre vient, en effet, de demander que les achats soient centralisés pour les différents ministères.

2° *Section des approvisionnements.* — Matériel, publicité, mess.

Les bureaux du Secretary's Office. La hiérarchie du personnel. Les traitements.

Le « bureau », au Secretary's Office, est dirigé par le « principal » (chef de bureau), secondé par des « assistant principals », des « senior staff officers » et des « staff officers », qui sont, en réalité, les sous-chefs de bureau de notre administration centrale.

Viennent ensuite les « executives » : ce sont nos rédacteurs ; puis les « clericals ou clerks », qui effectuent les travaux d'ordre et de copie et quelques travaux de rédaction.

Les attributions, la hiérarchie du personnel des bureaux du Secretary's Office seront mieux précisées quand nous aurons traité de la question du recrutement.

Dans une division du Secretary's Office, la hiérarchie du personnel s'établit comme il suit :

(1) Même le charbon.

Assistant Secretary

Principal (chef de bureau) | Principal | Principal

Assistant principal
Senior staff officers (sous-chefs)
Staff officers

Executive officers (rédacteurs)

Clerks higher grade
Clerks (commis d'ordre) (1)

Traitements (Compte non tenu de l'indemnité de cherté de vie).

Assistant principals (assistant chef de bureau) (attributions du sous-chef).	200 L., 20 L., 240 L., 25 L., 500 L.
Senior Staff Officers (sous-chefs).	500 L., 20 L., 600 L.
Staff Officers (sous-chefs).	400 L., 15 L., 500 L.
Executive officers (rédacteurs).......	100 L., 10 L., 130 L., 15 L., 400 L.
Clerks Higher Grade (commis principaux d'ordre)..................	300 L., 15 L., 400 L.
Clerks (commis d'ordre)............	60 L., 80 L., jusqu'à 18 ans, ensuite 100 L., 10 L., 120 L., 15 L., 150 L., 10 L., 250 L., Barrière (2) 180 L.
Dactylographes....................	22 sh. par semaine à 18 ans, 24 — 19 ans, 26 — 20 ans, etc....., jusqu'au maximum de 36 sh. par semaine.

III. — L'INSPECTION GÉNÉRALE.

Dans l'administration française des Postes et des Télégraphes, l'inspection générale forme un corps indépendant, qui agit selon les directives du ministre et lui rend compte directement. En Angleterre, ce n'est pas cette conception qui a prévalu. Chacun des deux directeurs de l'exploitation dispose d'un corps particulier d'inspecteurs et d'inspecteurs-adjoints qui reçoivent ses

(1) En réalité, les clerks accomplissent, en même temps que les travaux d'ordre, quelque besogne plus relevée. Ils sont mieux recrutés que nos expéditionnaires et commis d'ordre.

(2) Lorsque nous traiterons la question de l'avancement de classe, nous définirons ce qu'on entend par « barrière ».

instructions. On désigne chacun de ces corps d'inspecteurs sous les appellations de :

Postal Traffic Section, pour la direction des services postaux ;

Telegraph and Telephone Traffic Section
Wireless Section, pour la T.S.F.
Ce sont des organes d'études et de contrôle. } pour la direction des télégraphes et des téléphones ;

Postal Traffic Section (Section du Trafic postal). — Les fonctionnaires de cette section contrôlent, dans toute l'Angleterre, la marche du service postal d'après les directives qu'ils reçoivent du directeur des services postaux. Ils sont spécialement chargés de vérifier l'acheminement général des correspondances et de faire établir toutes les statistiques utiles pour servir à une détermination rationnelle du cadre des bureaux.

Les effectifs et traitements de la Postal Traffic Section sont les suivants :

1 inspecteur chef : 800 à 1.000 livres,
3 inspecteurs : 600 à 700 livres,
4 assistants-inspecteurs de 1re classe : 400 à 500 livres,
5 — — de 2e — : 200 à 350 livres.

Telegraph and Telephone Traffic Section (Section du trafic telégraphique et téléphonique). — Les fonctionnaires de cette section contrôlent :

1° *l'équipement des bureaux.* — Installations. Types d'appareils. Commutateurs. Appareils privés. Bâtiments télégraphiques et téléphoniques.

2° *l'exécution du service.* — Méthodes de travail. Qualité du service. Cours d'instruction et entraînement du personnel. Contrôle du travail des téléphonistes.

3° *les effectifs.* — Statistiques des opérations. Détermination du nombre d'abonnés à faire desservir par une téléphoniste.

4° *les circuits.* — Création de nouveaux circuits. Plan d'extension des réseaux. Statistiques du trafic.

Les effectifs et traitements de cette section sont les suivants :

1 inspecteur chef : 800 à 1.000 livres,

2 deputy inspecteurs chefs : 700 à 800 livres.
4 inspecteurs : 600 à 700 livres,
8 assistants-inspecteurs de 1re classe : 400 à 500 livres,
33 — — 2e — : 200 à 350 livres.

Wireless Section (**Section de la T.S.F.**). — Les inspecteurs de cette section inspectent les sections et installations de T.S.F. L'effectif est le suivant :

1 inspecteur : 800 livres, 25 livres, 1.000 livres,
1 deputy inspecteur : 600 livres, 25 livres, 750 livres,
3 assistants-inspecteurs,
3 superintendants,
14 assistants superintendants,
3 contrôleurs (overseers).

L'institution de ces trois corps d'inspection portant leurs investigations sur l'ensemble du territoire est de date assez récente, notamment en ce qui concerne le service postal. La direction du personnel a nommé les assistants inspecteurs du trafic postal pendant notre séjour à Londres en novembre 1923.

Les effectifs relativement importants de chacune de ces trois sections montrent bien de quel *puissant instrument de contrôle direct* disposent les directeurs des exploitations.

IV. — LES AUTRES SERVICES DU SECRETARY'S OFFICE.

A côté des « branchs » ou grandes divisions du Secretary's Office (directions de l'administration centrale), nous trouvons un certain nombre d'autres services. Ce sont :

l' « Investigation Branch » (Service d'enquête) ;
le « Solicitor's Office » (Service du contentieux) ;
l' « Intelligence Officer » (Office de la presse) ;
la « Woman Establishment Officer » (Conseiller pour les questions concernant le personnel féminin) ;
la « Typewriting Section » et le « Registry » (Dactylographie et enregistrement).

le « Chief Clerk's Branch » (Service intérieur) ;

Nous allons examiner successivement chacun de ces services.

Investigation Branch (Service d'enquête). — Les fonctionnaires de ce service sont chargés des enquêtes concernant les vols, détournements, fraudes, pertes, etc... Ils se rendent sur place et instruisent directement l'affaire.

Effectifs :

1 directeur............	700 à 900 livres
2 adjoints.............	550 à 650 —
33 rédacteurs............	200 à 550 —

Solicitor's Office (Contentieux). — Il s'agit de notre service du contentieux.

Effectifs :

1 solicitor.............	1.800 livres, après 5 années de service,
2 assistant sollicitors....	1.000 —
2 chief clerks..........	750 à 900 livres
3 assistant chief clerks..	550 à 700 —

et un personnel de rédacteurs et de commis d'ordre.

On remarque les traitements élevés des fonctionnaires du contentieux. Ils sont recrutés spécialement. Le solicitor actuel était chef de bureau au contentieux du trésor. Un des deux assistants a été assistant chef de bureau au service de l'agent judiciaire.

Intelligence Officer (Office de la presse). — C'est un service analogue à celui qui existe en Belgique pour assurer la liaison entre l'administration des postes et la presse.

Le fonctionnaire qui assume cette fonction (Intelligence Officer : 650 livres) lit la presse, examine les critiques visant le Post Office et, après demande de renseignements aux services compétents, remet, s'il y a lieu, les choses au point par un communiqué adressé au journal.

Sur la demande des services du Post Office, il fait insérer pour le public toutes les communications et recommandations utiles concernant le service.

Woman Establishment Officer (**Conseiller pour les questions féminines**). — Ce poste est de création récente. La décision du secrétaire s'exprime ainsi :

« Une fonction nouvelle, celle de Woman Establishment Officer a été créée : Miss X..... est nommée à cet emploi à la date du 3 juillet 1923.

« Cette fonctionnaire s'occupera de toutes les questions concernant le personnel féminin du Post Office, sous le contrôle général des assistants secrétaires chargés du personnel et des établissements. Son avis pourra être demandé sur toutes les questions délicates concernant les personnes ou les catégories ; elle se mettra en relation directe avec les chefs des bureaux à effectifs féminins. »

Miss X..... visite les bureaux féminisés, reçoit les doléances qui lui sont présentées par les employées et les associations féminines, surveille les cantines, s'assure que les attributions confiées aux femmes sont bien celles qui sont fixées par les règlements.

Suivant les mots du Postmaster general, le personnel féminin doit avoir la notion qu'il a, auprès du ministre, un défenseur qui prend en mains sa cause, auquel il peut se plaindre, sûr que ses doléances seront examinées de près par les services compétents.

Chief Clerk's Branch (**Service intérieur**). — Cette section est chargée de l'administration interne du Secretary's Office : Conservation des dossier du personnel de l'administration centrale, circulaires, guide du Post Office, et toutes les questions d'imprimerie et d'autographie.

Le chef de cette section a le grade de principal (chef de bureau).

Typewriting Section and Registry (**Service des dactylographes et Enregistrement**). — 1° *Dactylographes et sténo-dactylographes.* — Pour le Secretary's Office, l'effectif est le suivant

20 sténo-dactylographes,
1 superintendante, chef des dactylographes (surveillante principale),
11 superintendantes (surveillantes),
83 dactylographes.

Les dactylographes sont groupées dans une seule pièce sous la surveillance de la superintendante chef et des 11 superintendantes.

Les sténo-dactylographes sont réparties dans les divisions de l'administration centrale.

Il y a également une ou deux dactylographes dans chaque division pour le travail confidentiel.

On nous a assuré que la dactylographie était tenue au pair au jour le jour pour toute l'administration centrale. Nous avons pu remarquer combien le travail était soigné ; les tirages sont faits, comme chez nous, au Ronéo.

2° *Registry*. — Un service important, le « Registry », est chargé d'enregistrer tout le courrier d'arrivée et de départ du Secretary's Office et de conserver les dossiers.

Situé au premier sous-sol, il occupe une superficie comparable à deux étages de la direction du personnel. Ses effectifs comprennent 209 unités sous les ordres d'un fonctionnaire du grade de sous-chef de bureau.

La dépense, rien que pour les traitements, *dépasse annuellement un million de francs* (*or*).

Aucune pièce, aucun document n'entre au Secretary's Office ni n'en sort sans qu'il soit enregistré.

Les opérations se déroulent ainsi :

A 7 h. 3/4 arrive le courrier le plus important. Une première équipe ouvre les sacs, redresse les lettres. A 8 heures, les opérations d'ouverture sont commencées par la deuxième équipe qui arrive. A 9 heures, tout l'effectif étant présent, commencent le timbrage et l'enregistrement.

Le courrier, trié par « branch », est toujours envoyé dans la matinée aux bureaux. La masse du courrier va *directement* aux

rédacteurs, sans être lu, par conséquent, ni par le directeur ou l'assistant secrétaire, ni par le chef de bureau.

Cependant, il est des affaires *très importantes ou urgentes* que les chefs de l'administration doivent connaître immédiatement. Elles sont signalées, au moment de l'ouverture, au chef de l'enregistrement, qui les envoie directement aux directeurs et assistants secrétaires (c'est le cas, notamment, pour tout ce qui vient des offices étrangers). Si des affaires particulièrement importantes paraissent devoir être communiquées au Postmaster general ou aux 1er et 2e secrétaires, le chef de l'enregistrement les leur envoie pour lecture; dans la journée, elles sont retournées au Registry, pour être enregistrées, puis dirigées sur la division compétente.

Les lettres qui concernent plusieurs services sont copiées en autant d'exemplaires qu'il y a de services intéressés.

Le Registry *enregistre également tout le courrier de départ* et expédie les correspondances.

Il n'a pas un rôle de contrôle sur la plus ou moins grande rapidité avec laquelle sont traitées les affaires, sauf cependant s'il s'agit des correspondances adressées en province. Pour celles-là, il est ouvert un registre par directeur régional ; si, dans un délai de 10 à 15 jours, il n'a pas été répondu, le service du Registry adresse un rappel. Si le directeur estime qu'il a besoin d'un délai supplémentaire pour répondre, cette demande est communiquée au service de l'administration centrale compétent.

Tout un mécanisme très bien combiné existe au service du Registry pour retrouver presque immédiatement le dossier d'une affaire. Nous en avons fait l'expérience. Des dossiers concernant des demandes de renseignements que nous avions adressées au General Post Office et dont j'avais conservé le souvenir nous ont été présentés dans les cinq minutes. Il n'y manquait rien.

Les dossiers terminés sont toujours envoyés au service de l'enregistrement pour être classés et conservés. Les rédacteurs n'ont, par devers eux, que les affaires en instance. Aussi, dans les bureaux, pas de tables encombrées, pas de cartons verts qui emmagasinent la poussière.

Le service de la garde des dossiers au Registry comprend plusieurs salles, où les dossiers, classés par numéros, reposent sur des châssis et des étagères disposés au milieu des salles. Certains dossiers de principe sont conservés indéfiniment dans une pièce spéciale : on nous a présenté des documents du XVIIe siècle.

Les dossiers ne sont pas classés, d'une manière générale, par objets. Mais, dans chaque section, il est tenu, par le sous-chef de bureau, un livre de références sur lequel il est pris note, par objet, des affaires traitées, avec, en regard, le numéro d'enregistrement au Registry. Ce livre, servi avec grand soin, permet de demander, au chef du Registry, communication de tous les dossiers concernant telle question déterminée.

Le service d'enregistrement est d'une utilité incontestable. En Angleterre, il n'est pas douteux qu'il a été amplifié à l'excès et qu'il est trop coûteux. On pourrait, semble-t-il, le réduire sans inconvénient. Mais, sous cette réserve, le principe est excellent, et on doit regretter qu'un service analogue n'existe pas dans notre administration, tout au moins pour l'enregistrement et la conservation des dossiers et des documents importants.

ACCOUNTANT-GENERAL'S DEPARTMENT (DIRECTION DE LA COMPTABILITÉ).

Nous n'avons rien dit de ce service très important ; c'est qu'il est en marge du Secretary's Office.

Il a, en plus de la centralisation des écritures et de la reddition des comptes, les attributions d'un contrôleur des dépenses engagées. Le chef de ce service (comptroller and accountant general) est nommé par le Postmaster general, mais sur la présentation de la trésorerie. C'est l'homme de confiance du ministre des finances. Il en sera parlé plus longuement dans le chapitre concernant le budget et la comptabilité.

INDUCTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE DES LIGNES D'ÉNERGIE SUR LES LIGNES DE COMMUNICATIONS VOISINES

Par L.-J. COLLET,
Ingénieur des Postes et Télégraphes.

GÉNÉRALITÉS. — PHÉNOMÈNES OBSERVABLES EN RÉGIME PERMANENT.

Des notes antérieures parues dans les *Annales* (décembre 1923 et juillet 1924) ont été consacrées à l'étude du champ magnétique et du champ électrique, au voisinage des lignes triphasées (ou polyphasées).

D'autre part, la description du champ électromagnétique d'une ligne monophasée ou même d'une ligne alimentée en courant continu, est simple et se trouve dans les traités classiques.

Il s'agirait d'utiliser les résultats acquis, pour examiner quelle peut être l'action d'une ligne d'énergie sur un conducteur ou un circuit voisin.

Quand un circuit est placé dans un champ magnétique, ce circuit embrasse un certain flux (un conducteur unique peut être considéré comme l'élément d'un circuit qui se referme sur le sol). Lorsque ce flux varie, le circuit devient le siège de forces électromotrices d'induction.

On sait d'ailleurs, qu'il est permis de calculer la force électromotrice d'induction appliquée sur un élément de circuit fixe comme la dérivée par rapport au temps du flux balayé par l'élément lors de la variation du champ.

Le champ électrique observable, lorsque plusieurs conducteurs sont en présence, peut être considéré comme la résultante des champs individuels développés par chacun des conducteurs. Dès

lors, il est permis de dire que lorsqu'un conducteur *a* est placé dans le champ électrique des conducteurs d'une ligne d'énergie, il se recouvre par influence d'une charge électrique Q_a. Celle-ci d'ailleurs, se compose avec celle qui est induite par le champ propre du conducteur *a* et éventuellement par le champ de conducteurs voisins *b*, *c*. Lorsque ces charges varient, le conducteur est le siège de courants qui s'ajoutent algébriquement entre eux et s'ajoutent éventuellement aux courants de conduction qui circulent dans le conducteur sous d'autres actions, pour constituer le courant total observable.

En admettant que subsistent, dans le cas de lignes parcourues par des courants alternatifs industriels, les relations de l'électrostatique entre les charges induites et les potentiels, nous allons montrer comment peuvent se calculer les charges induites Q_a, Q_b, par une ligne d'énergie sur des conducteurs *a*, *b*, en fonction des potentiels U_a, U_b, qui existeraient à l'emplacement des conducteurs *a*, *b*, si ces conducteurs n'existaient pas (1).

Soient i, j ... les conducteurs de la ligne d'énergie,
V_i, V_j ... leurs potentiels
q_i, q_j ... leurs charges, au cas ou les conducteurs *a*, *b*, n'existeraient pas.

Les potentiels aux points *a*, *b* seraient :

$$U_a = \sum_i \beta_{ia} q_i$$

$$U_b = \sum_i \beta_{ib} q_i$$

où β_{ia} β_{ib} sont les coefficients d'influence au point M.

Quant aux charges q_i, elles sont reliées aux potentiels par les relations

$$V_i = \sum_j \alpha_{ij} q_j$$

α_{ij} étant les coefficients de potentiel des conducteurs de la ligne.

Supposons que l'on amène dans le champ les conducteurs

(1) Ce sont ces potentiels U_a, qui ont été calculés dans la note précitée. Ils sont désignés par la notation V_M.

a, b en les maintenant isolés (au sens de l'électrostatique), la charge totale de ces conducteurs sera nulle.

Les formules nouvelles

$$V_i = \sum_j \alpha_{ij} q^j + \sum_a \alpha_{ia} q_a$$

se réduiront donc aux anciennes. Aucune modification ne sera apportée à la répartition des potentiels ou des charges des conducteurs de la ligne d'énergie.

Les potentiels V_a, V_b des conducteurs a, b seront :

$$V_a = \Sigma \alpha_{ai} q_i$$
$$V_b = \Sigma \alpha_{bi} q_i.$$

Or, les coefficients de potentiel α_{ai} ne diffèrent pas des coefficients d'influence β_{ai}. Ainsi :

$$V_a = U_a$$
$$V_b = U_b$$

Ceci étant, écrivons pour ces conducteurs, la relation entre les potentiels et les charges.

Dans le cas général (conducteurs a, b, isolés ou non)

$$q_a = \sum_j c_{aj} V_j + \sum_b c_{ab} V_b$$

La charge induite Q_a par la ligne d'énergie, ne dépend que de la valeur des potentiels V_i, V_j ...

Dans le cas particulier ou les fils sont isolés :

$$q_a = 0 = Q_a + \sum_b c_{ab} U_b$$

Ainsi :

$$q_a = - \sum_b c_{ab} U_b$$

En toute rigueur, les coefficients c_{aa}, c_{ab}..., devraient se calculer en tenant compte de l'existence des conducteurs de la ligne d'énergie.

Il est facile de se rendre compte, par une application numérique, que dès que les conducteurs a, b sont assez éloignés des conducteurs de la ligne d'énergie, c_{aa}, c_{ab},... ne diffèrent pratique-

ment pas des valeurs qu'ils auraient si la ligne d'énergie n'existait pas.

Par contre, suivant que la ligne de communications auxquelles appartiennent ces conducteurs, possède un nombre plus ou moins grand de fils lesdits coefficients peuvent varier dans d'assez larges limites.

En premier lieu, nous considérerons seulement le cas d'un fil ou d'un circuit unique.

Dans le cas d'un fil unique, de capacité c:

$$q_a = - c\,U_a$$

Dans le cas d'un circuit

$$\begin{cases} q_a = - c_{aa}\,U_a - c_{ab}\,U_b \\ q_b = - c_{ab}\,U_a - c_{bb}\,U_b \end{cases}$$

Ayant donc calculé la force électromotrice induite sur un conducteur par une ligne d'énergie voisine, ainsi que la charge électrique développée par influence, on peut établir les équations regissant les tensions et courants induits, par un raisonnement analogue à celui qui conduit aux équations classiques de la propagation.

Soient a, b, c, les conducteurs d'une ligne de communications placée dans le champ électromagnétique d'une ligne d'énergie.

V_a, V_b, V_c... leur potentiel en un point d'abscisse x,

I_a, I_b, I_c... les courants totaux qui les parcourent, en ces points. Supposons que l'on puisse admettre l'existence de coefficients constants linéïques apparents.

r_a r_b r_c..... de résistance,
l_a l_b l_c...... de self induction,
m_{ab}, m_{ac}.... de mutuelle induction,
g_a, g_b, g_c... de perditance par rapport au sol,
g_{ab}, g_{ac}...... de perditance entre conducteurs,
c_a, c_b....... de capacité propre,
c_{ab}, c_{ac}...... de capacité entre conducteurs.

Supposons en outre (à titre de simplification), qu'il n'y ait aucune conductance de perte entre les conducteurs de la ligne d'énergie et les conducteurs de la ligne de communication. Désignons enfin, par Φ_a, Φ_b, Φ_c... etc... les flux balayés par l'unité de longueur de ces conducteurs, pendant la variation du champ magnétique de la ligne d'énergie ;

Par Q_a, Q_b, Q_c, les charges par unité de longueur, dont se recouvrent les conducteurs sous l'effet du champ électrique de la ligne d'énergie (au sens qui a été précisé plus haut) ;

On a, pour chacun des conducteurs de la ligne de communications, du système d'équations analogues à :

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial V_a}{\partial x} = \left(r_a + l_a \dfrac{\partial}{\partial t}\right) I_a + \sum\limits_b m_{ab} \dfrac{\partial I_b}{\partial t} + \dfrac{d\Phi_a}{dt}. \\ -\dfrac{\partial I_a}{\partial x} = \left(g_a + c_a \dfrac{\partial}{\partial t}\right) V_a + \sum\limits_b g_{ab}\left(V_a - V_b\right) + \sum c_{ab} \dfrac{\partial V_b}{\partial t} + \dfrac{dQ_a}{dt}. \end{cases}$$

Nous allons en premier lieu, étudier ces formules dans le cas du champ électromagnétique d'une ligne d'énergie, à courants alternatifs en régime permanent.

Nous examinerons d'abord les cas simples, où la ligne de communications comporte seulement un fil unique, ou un circuit unique, c'est-à-dire en excluant le cas de fils ou de circuits appartenant à une nappe).

Étude du régime permanent. Cas d'un fil unique. — Les équations du système se réduisent à :

$$\begin{cases} -\dfrac{\partial V}{\partial x} = \left(r + l \dfrac{\partial}{\partial t}\right) I + \dfrac{d\Phi}{dt} \\ -\dfrac{\partial I}{\partial x} = \left(g + c \dfrac{\partial}{\partial t}\right) V + \dfrac{dQ}{dt} \end{cases}$$

Les coefficients r, l, g, c, sont les mêmes que ceux qui interviennent dans les équations de la propagation. Ils sont donc susceptibles d'être déterminés expérimentalement par des mesures au pont à courants alternatifs (alimenté à la fréquence du courant industriel inducteur), suivant la méthode classique.

(Bien entendu, ces mesures devraient se faire alors que la ligne d'énergie ne serait pas sous tension.)

Leur ordre de grandeur, dans les conditions habituelles de pose des fils télégraphiques, est le suivant :

Pour les conducteurs de cuivre de 3 mm., r est de l'ordre de 2,3 ohms par km. ; pour les conducteurs de cuivre de 5 mm., r est de l'ordre de 0,85 ohms par km. ; l est de l'ordre de 0,01 henry par km. ; c est de l'ordre de 0,009 microfarad par km. ; g est extrêmement variable, pour une même ligne, d'un jour à un autre. On peut admettre cependant que ce coefficient varie entre une fraction infime de micromho par km. et plusieurs micromhos par km., 10 par exemple.

Quand le fil est à peu près parallèle aux conducteurs de la ligne d'énergie et dans les sections où celle-ci ne présente ni transpositions, ni dérivations, on peut admettre avec une approximation convenable, que Φ et Q sont indépendants de x dans la partie exposée.

Si donc ω est la pulsation du courant alternatif de la ligne d'énergie, on peut écrire les relations vectorielles :

$$-\frac{\partial V}{\partial x} = (r + j l \omega)\, I + j \omega \Phi$$

$$-\frac{\partial I}{\partial x} = (g + j c \omega)\, V + j \omega Q$$

Soient :

R, l'impédance linéique (pour la pulsation) ;

G, l'admittance linéique ;

Z_0, l'impédance caractéristique de la ligne ;

γ, la constante de propagation :

$$R = r + j l \omega$$

$$G = g + j c \omega$$

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R}{G}}$$

$$\gamma = \sqrt{RG}$$

La solution générale du système est :

$$V = A \exp.(-\gamma x) + B \exp. \gamma x - j \omega \frac{Q}{G}$$

$$I = \frac{1}{Z_0}\left[A \exp.\ (-\gamma x) - B\ \exp.\ \gamma x\right] - j\omega \frac{\Phi}{R}$$

A et B étant des constantes qui se calculent en fonction des conditions aux extrémités de la section du fil exposé à l'induction.

Nous allons indiquer, pour quelques cas particuliers, les formules auxquelles mène le calcul, d'ailleurs très facile de ces constantes.

Auparavant, remarquons que pour les fréquences industrielles (de 16,2/3 à 50), la constante de propagation γ est de l'ordre de 0,001 à 0,005. Ainsi, pour une ligne de 20 km., par exemple, γl sera au plus de l'ordre de 0,1. Les exponentielles pourront donc être calculées au moyen de leurs seuls premiers termes.

Fil isolé à ses deux extrémités. — Soit $2l$ la longueur du fil ; l'origine des abscisses étant le milieu du fil :

$$V = -j\omega \frac{Q}{G} - j\omega Z_0 \frac{\Phi}{R} \frac{\operatorname{sh} \gamma x}{\operatorname{ch} \gamma l}$$

$$I = \qquad -j\omega \frac{\Phi}{R}\left[1 - \frac{\operatorname{ch} \gamma x}{\operatorname{ch} \gamma l}\right]$$

Pratiquement ces formules se réduisent à :

$$V = -j\omega \frac{Q}{G} - j\omega \Phi x$$

$$I = \qquad -j\omega \Phi G \frac{l^2 - x^2}{2}$$

Au milieu de la ligne, on observe le potentiel dû au seul effet d'influence électrique.

Nous avons vu plus haut, que $Q = cU$, U étant le potentiel qu'il y aurait du point de l'espace où se trouve placé le fil, si le fil n'existait pas.

Si la ligne était parfaitement isolée ($g = o$ $G = jc\omega$), on aurait : pour $x = o$ $\quad V = -j\omega \frac{Q}{G} = U.$

Cette remarque permet d'imaginer une méthode d'exploration du champ électrique d'une ligne, par la mesure de la tension de fils tendus parallèlement et isolés à leurs extrémités. Cependant, le succès de tels essais dépendrait du soin apporté à la détermination de la conductance de perte des fils d'épreuve, au moment de la mesure.

D'un autre côté, si la ligne n'était pas parfaitement isolée, on aurait :

$$V_{x=o} = \frac{U}{1 + \frac{g}{jc\omega}}.$$

Cette formule montre que l'influence des divers harmoniques de tension de la ligne d'énergie serait d'autant plus sensible que l'ordre de ces harmoniques est plus élevé.

D'autre part, on peut remarquer que le courant induit sur un fil isolé à ses extrémités est très généralement insignifiant. Ce résultat est presque intuitif.

Fil mis à la terre à ses deux extrémités, à travers une résistance nulle. — Soit encore $2l$ la longueur du fil. Prenons le milieu du fil comme origine des abscisses :

$$V = -j\omega \frac{Q}{G}\left[1 - \frac{\text{ch}\,\gamma x}{\text{ch}\,\gamma l}\right]$$

$$I = -j\omega \frac{Q}{G}\frac{1}{Z_0} \cdot \frac{\text{sh}\,\gamma x}{\text{ch}\,\gamma l} - j\omega \frac{\Phi}{R}$$

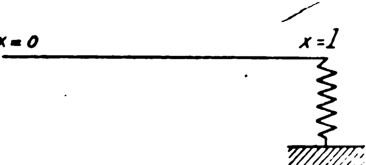
Pratiquement, ces formules se réduisent à :

$$V = -j\omega Q R \frac{l^2 - x^2}{2}$$

$$I = -j\omega Q x - j\omega \frac{\Phi}{R}.$$

Au milieu de la ligne, le courant observable est dû au seul

champ magnétique. La mesure de ce courant ne saurait présenter de difficultés spéciales, mais la détermination de R $(R = r + j\omega l)$, peut être assez imprécise. Toutefois, si R est bien connu, on pourra par une mesure de courant, déterminer l'intensité du flux magnétique.



Fil de longueur l, isolé à une extrémité $(x = o)$, mis à la terre à l'autre $(x = l)$ à travers une impédance Z.

$$V = -j\omega \frac{Q}{G}\left[1 - \frac{\operatorname{ch}\gamma x}{\operatorname{ch}\gamma l + \frac{Z}{Z_0}\operatorname{sh}\gamma l}\right]$$

$$+ j\omega \frac{\Phi}{R} Z_0 \frac{\operatorname{sh}\gamma(l - x) - \frac{Z}{Z_0}\left(\operatorname{ch}\gamma x - \operatorname{ch}\gamma(l - x)\right)}{\operatorname{ch}\gamma l + \frac{Z}{Z_0}\operatorname{sh}\gamma l}$$

$$I = -j\omega \frac{Q}{G} \cdot \frac{1}{Z_0} \frac{\operatorname{sh}\gamma x}{\operatorname{ch}\gamma l + \frac{Z}{Z_0}\operatorname{sh}\gamma l}$$

$$- j\omega \frac{\Phi}{R}\left[1 - \frac{\operatorname{ch}\gamma(l - x + \frac{Z}{Z_0}(\operatorname{sh}\gamma x + \frac{Z}{Z_0}\operatorname{sh}\gamma(l - x)}{\operatorname{ch}\gamma l + \frac{Z}{Z_0}\operatorname{sh}\gamma l}\right]$$

Pratiquement, ces formules se réduisent à :

$$V = -j\omega Q \frac{Zl + \frac{R}{2}(l^2 - x^2)}{1 + GZl} + j\omega\Phi\left[l - x - \frac{GZl^2}{2(1 + GZl)}\right]$$

$$I = -j\omega Q \frac{x}{1 + GZl} \qquad - j\omega\Phi \frac{Gx\left(l - \frac{x}{2}\right)}{1 + GZl}$$

Dans le cas particulier ou $Z = 0$, on a :

$$V = -j\omega Q \frac{R}{2}(l^2 - x^2) + j\omega\Phi(l - x)$$

$$I = -j\omega Q x \qquad - j\omega\Phi G x\left(l - \frac{x}{2}\right).$$

Au point où la ligne est mise à la terre, le courant observable différera généralement peu de $(j\omega Q l)$, c'est-à-dire du courant de charge du fil, sous l'influence du champ électrique. D'où une méthode possible de mesure de ce champ. Cette détermination sera souvent meilleure que celle qui résulterait de la mesure de la tension au point milieu d'un conducteur isolé à ses extrémités. Dans un tel essai, il peut être nécessaire de calculer une correction pour tenir compte de la valeur insuffisante de l'impédance de l'appareil de mesure utilisé (voltmètre ou électromètre).

En effet, si au milieu d'une ligne de longueur $2l$, isolée à ses extrémités, on branche un appareil d'impédance Z, relié au sol, tout se passe au point de vue des effets d'induction magnétique, comme si l'appareil n'existait pas. Au point de vue des effets d'influence électrique, la distribution des courants et tensions sur chaque moitié du fil est la même que si les deux sections étaient isolées l'une de l'autre à leur extrémité commune, et reliées chacune au sol en ce point à travers une impédance $2Z$.

D'après les formules précédentes, la tension observable au milieu du fil est donc :

$$V = -j\omega Q \frac{2Zl}{1 + GZl} = j\omega \frac{Q}{G} \frac{1}{1 + \frac{1}{2GZl}}.$$

On voit que pour pouvoir négliger le terme correctif, il faut que l'impédance de l'appareil de mesure soit d'autant plus grande que l'admittance totale de la ligne est plus faible. Généralement, un voltmètre ne donnera aucune bonne mesure : on

devra utiliser un électromètre. Si la ligne est parfaitement isolée ($g = o$, $G = jc\omega$), la formule se réduira à :

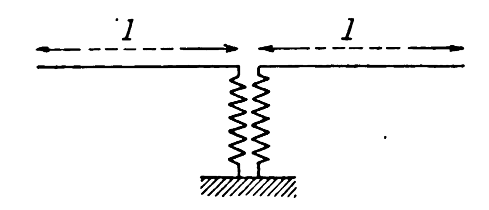
$$V = U \frac{1}{1 + \frac{\Gamma}{2cl}}$$

Γ étant la capacité de l'électromètre.

Revenons au cas d'un fil mis à terre à une de ses extrémités et isolé de l'autre.

La tension de ce fil, à l'extrémité isolée, est :

$$V = -j\omega Q \frac{R}{2} l^2 + j\omega \Phi l$$



Si l'effet d'influence électrique est faible vis-à-vis de l'effet d'induction magnétique, et si la ligne d'essai n'est pas trop longue, une mesure de la tension du fil, à l'extrémité isolée permettra de connaître Φ.

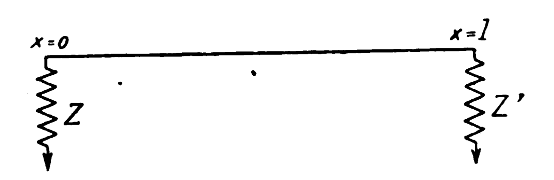
Dans ce cas, il n'y aura pas lieu de faire de correction d'appareil pourvu que l'impédance de l'appareil de mesure soit notablement supérieure à la résistance propre de la ligne. (Parfois donc, un voltmètre pourra être utilisé. (Les formules complètes sont établies plus loin.)

A priori, on ne saurait dire si cette méthode de détermination de Φ est plus avantageuse que celle qui dérive de la mesure du courant au milieu d'une ligne mise à la terre à ses deux extrémités. Elle ne saurait s'appliquer que si l'effet d'influence électrique est suffisamment petit. Elle offre cependant la commodité de n'exiger qu'une seule mesure, en un point facilement accessible d'un conducteur.

Fil dont les extrémités sont mises à la terre à travers des impédances Z et Z'. — Soit l la longueur du fil,

Z l'impédance de mise à la terre, à l'origine $x = o$

Z' — — à l'extrémité $x = l$



$$V = -j\omega\frac{Q}{G}\left[1 - \frac{\operatorname{sh}\gamma(l-x) + \operatorname{sh}\gamma x + \frac{Z}{Z_0}\operatorname{ch}\gamma x + \frac{Z'}{Z_0}\operatorname{ch}\gamma(l-x)}{\left(1 - \frac{ZZ'}{Z_0^2}\right)\operatorname{sh}\gamma l + \left(\frac{Z+Z'}{Z_0}\right)\operatorname{ch}\gamma l}\right]$$

$$-j\omega\frac{\Phi}{R}\frac{Z'\operatorname{sh}\gamma x - Z\operatorname{sh}\gamma(l-x) + \frac{ZZ'}{Z_0^2}\left(\operatorname{ch}\gamma x - \operatorname{ch}\gamma(l-x)\right)}{\left(1 - \frac{ZZ'}{Z_0^2}\right)\operatorname{sh}\gamma l + \left(\frac{Z+Z'}{Z_0}\right)\operatorname{ch}\gamma l}$$

$$I = -j\omega\frac{Q}{G}\frac{1}{Z_0}\frac{\operatorname{ch}\gamma x - \operatorname{ch}\gamma(l-x) + \frac{Z}{Z_0}\operatorname{sh}\gamma x - \frac{Z'}{Z_0}\operatorname{sh}\gamma(l-x)}{\left(1 - \frac{ZZ'}{Z_0^2}\right)\operatorname{sh}\gamma l + \left(\frac{Z+Z'}{Z_0}\right)\operatorname{ch}\gamma l}$$

$$-j\omega\frac{\Phi}{R}\left[1 - \frac{1}{Z_0}\frac{Z'\operatorname{ch}\gamma x + Z\operatorname{ch}\gamma(l-x) + \frac{ZZ'}{Z_0^2}\left[\operatorname{sh}\gamma x + \operatorname{sh}\gamma(l-x)\right]}{\left(1 + \frac{ZZ'}{Z_0^2}\right)\operatorname{sh}\gamma l + \frac{Z+Z'}{Z_0}\operatorname{ch}\gamma l}\right]$$

Ces formules deviennent, si la ligne est courte :

$$V = -j\omega Q\frac{ZZ'l + RZ\frac{l^2 - x^2}{2} + RZ'x\left(l - \frac{x}{2}\right) - R^2lx\frac{l-x}{2}}{(R + GZZ')l + Z + Z'}$$

$$-j\omega\Phi\frac{Z'x - Z(l-x) - GZZ'l\left(\frac{l}{2} - x\right)}{(R + GZZ'l + Z + Z'}$$

$$I = j\omega Q\frac{Z'(l-x) - Zx + Rl\left(\frac{l}{2} - x\right)}{(R + GZZ')l + Z + Z'}$$

$$-j\omega\Phi \frac{l - GZl\left(\frac{l}{2} - x\right) - (Z + Z')G\frac{x^2}{2}}{(R + GZZ')l + Z + Z'}.$$

Ces formules se prêtent bien au calcul et à la discussion.

Toutefois, quelques remarques sont susceptibles de faciliter l'étude des différents problèmes qui peuvent se présenter à l'examen.

Examinons d'abord les effets dus à l'influence électrique seule.

Une ligne se comporte à peu près comme une ligne isolée à l'une de ses extrémités, si l'impédance qui relie cette extrémité au sol est d'un ordre de grandeur notablement supérieur à $\frac{1}{Gl}$.

Si nous excluons le cas où les impédances Z et Z', de mise à la terre du fil, satisfont à peu près à la condition de résonance $(Z + Z' = o)$, et en outre sont égales à $\pm Z_0$, (Z_0 étant l'impédance caractéristique de la ligne), nous pouvons remarquer que la tension la plus élevée observable sur le fil sera d'un ordre de grandeur bien inférieur à celui de la tension V_0 au milieu du fil isolé $\left(V_0 = -j\omega \frac{Q}{G}\right)$, dès qu'une des impédances Z ou Z' sera elle-même d'un ordre de grandeur inférieur à $\frac{1}{Gl}$.

On peut dire, en un mot, qu'il suffit de relier un point de conducteur au sol, à travers une impédance faible, pour le décharger en grande partie.

Cet énoncé peut paraître intuitif : l'examen de la formule a été cependant nécessaire pour permettre de préciser la signification à donner au mot faible.

Le long d'un conducteur, la variation des tensions est assez petite en valeur absolue, que la tension la plus élevée soit déjà faible ou que les variations relatives soient petites.

Hormis le cas de la résonance des impédances terminales, les courants de charge d'un conducteur, sous l'effet de l'influence électrique, sont au plus de l'ordre de V_0Gl. Ils sont donc généralement petits, alors même que V_0 atteindrait quelques centaines de volts.

On peut encore noter que si les impédances terminales sont égales entre elles, et petites $\left(\text{par rapport à } \frac{1}{Gl}\right)$, les courants de charge aux extrémités du fil seront indépendants de la valeur de ces impédances et égaux à $\frac{V_0 G l}{2}$. Par contre, les potentiels aux extrémités du conducteur sont évidemment égaux à $\frac{V_0 G Z l}{2}$, et proportionnels à la valeur des impédances Z.

Passons maintenant à l'examen des effets d'induction magnétique.

Si les impédances Z et Z′ sont d'un ordre de grandeur notablement inférieur à $\frac{1}{Gl}$, on a assez exactement :

$$I = -j\omega\Phi l \frac{1}{Rl + Z + Z'} = I_0 \frac{Rl}{Rl + Z + Z'}$$

en désignant par I_0 le courant au milieu du fil mis directement à la terre à ses extrémités $I_0 = -j\omega \frac{\Phi}{R}$.

Si une des impédances Z devient de l'ordre de $\frac{1}{Gl}$, la formule précédente n'est plus valable. Toutefois le courant demeure inférieur à $\frac{I_0 R l}{2 Z}$, à l'extrémité où il est le plus intense.

Le long d'un fil, la valeur des courants induits varie assez peu.

Hormis le cas où les impédances terminales sont à peu près en résonance et ont une valeur différant un peu de l'impédance caractéristique de la ligne, les tensions aux différents points du fil, sont au plus de l'ordre de $I_0 R l$. Cette valeur est observable par exemple à l'extrémité isolé d'un fil, mis directement à la terre à l'autre extrémité, ou encore, à l'extrémité d'un fil relié en ce point à la terre, à travers une impédance notablement supérieure à la somme de l'impédance totale de la ligne et de l'impédance de mise à la terre du fil à l'extrémité opposée.

Si les impédances terminales sont égales et de valeur assez grande devant l'impédance totale de la ligne, les tensions aux

extrémités du fil sont indépendantes des valeurs de ces impédances et égales à $\frac{I_0 R l}{2}$. Par contre les courants sont inversement proportionnels à la valeur commune de ces impédances.

De ces quelques remarques résulte nettement que les effets d'influence électrique et les effets d'induction magnétique se développent suivant des lois bien différentes, et en quelque sorte, opposées l'une à l'autre. Il peut être difficile de limiter les uns sans exagérer les autres. On ne saurait donc entreprendre d'assurer rationnellement la protection d'une installation télégraphique contre les effets d'induction électromagnétique d'une ligne industrielle sans avoir déterminé préalablement l'importance relative des deux facteurs du trouble, champ magnétique et champ électrique.

Cas d'une ligne comportant deux fils (circuit téléphonique). — Soient en a et b les deux fils de la ligne.

Nous avons vu précédemment que les équations générales de la propagation s'écrivent dans ce cas :

$$\left\{\begin{array}{l} -\frac{\partial V_a}{\partial x} = \left(r_a + l_a \frac{\partial}{\partial t}\right) I_a + m_{ab} \frac{\partial I_b}{\partial t} + \frac{d\Phi_a}{dt} \\ -\frac{\partial I_a}{\partial x} = \left(g_a + c_{aa} \frac{\partial}{\partial t}\right) V_a + g_{ab}(V_a - V_b) + c_{ab} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{dQ_a}{dt} \\ -\frac{\partial V_b}{\partial x} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ -\frac{\partial I_b}{\partial x} = \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{array}\right.$$

On obtient plus de symétrie dans ces équations en posant :

$$g_{ao} = g_a + g_{ab}$$
$$g_{bo} = g_b + g_{ab}.$$

En premier lieu, considérons le cas où les deux fils constituent un circuit bien équilibré en ce qui concerne la répartition des constantes, c'est-à-dire où :

$$g_{ao} = g_{bo}$$
$$c_{aa} = c_{bb}$$
$$r_a = r_b$$
$$l_a = l_b$$

Admettons en outre, ce qui est une approximation généralement convenable, que les Φ et les Q sont indépendants de x dans la section considérée.

Les équations relatives au régime permanent peuvent alors s'écrire :

$$\left\{\begin{aligned} -\frac{\partial V_a}{\partial x} &= RI_a + MI_b + j\omega\Phi_a \\ -\frac{\partial V_b}{\partial x} &= RI_b + MI_a + j\omega\Phi_b \\ -\frac{\partial I_a}{\partial x} &= GV_a + KV_b + j\omega Q_a \\ -\frac{\partial I_b}{\partial x} &= GV_b + KV_a + j\omega Q_b. \end{aligned}\right.$$

en posant :

$$\begin{aligned} R &= r_a + j\omega l_a = r_b + j\omega l_b \\ M &= j m_{ab}\omega \\ G &= g_{ao} + j\omega c_{aa} = g_{bo} + j\omega c_{bb} \\ K &= -g_{ab} + j\omega c_{ab} \end{aligned}$$

de ces équations, on peut tirer facilement :

$$\left\{\begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial x}\left[V_a - V_b\right] &= 2(R - M)\frac{I_a - I_b}{2} + j\omega\left[\Phi_a - \Phi_b\right] \\ -\frac{\partial}{\partial x}\frac{I_a - I_b}{2} &= \frac{G - K}{2}\left[V_a - V_b\right] + j\omega\frac{Q_a - Q_b}{2} \end{aligned}\right.$$

$$\left\{\begin{aligned} -\frac{\partial}{\partial x}\frac{V_a + V_b}{2} &= \frac{R + M}{2}\left[I_a + I_b\right] + j\omega\frac{\Phi_a + \Phi_b}{2} \\ -\frac{\partial}{\partial x}\left[I_a + I_b\right] &= 2(G + K)\frac{V_a + V_b}{2} + j\omega\left[Q_a + Q_b\right] \end{aligned}\right.$$

Par les changements de variables :

$$\left\{\begin{aligned} V_a - V_b &= V \\ \frac{I_a - I_b}{2} &= I \end{aligned}\right. \quad \text{et} \quad \left\{\begin{aligned} \frac{V_a + V_b}{2} &= \mathcal{V} \\ I_a + I_b &= \mathcal{I} \end{aligned}\right.$$

on ramène la solution de ces deux systèmes, à celle du système relatif à la propagation sur un fil seul.

La transformation du système à quatre équations et quatre

inconnues, (V_a, V_b, I_a, I_b), en deux systèmes à deux équations et deux inconnues (V et I; $\mathcal{V}$ et $\mathcal{I}$), est facile à interpréter physiquement.

Lorsqu'entre les extrémités des fils *a* et *b*, on place des appareils isolés du sol, les tensions $V = V_a - V_b$ en ces points extrêmes des conducteurs, représentent les différences de potentiel existant aux bornes de ces appareils; les courants traversant effectivement ces appareils, sont justement égaux à $I = I_a = - I_b = \frac{I_a - I_b}{2}$. Ainsi, le système des équations en I et V peut être appelé proprement le système des équations du circuit.

Le second système peut être appelé de même, le système des équations de l'approprié télégraphique. Si on relie par des résistances nulles les deux fils du circuit à chacune de leurs extrémités, le potentiel commun des fils *a* et *b* en ces points sera justement $\mathcal{V} = V_a = V_b = \frac{V_a + V_b}{2}$; les courants qui pourraient être recueillis sur un conducteur ou dans un appareil reliant à la terre les extrémités des fils seraient alors

Ainsi, il est facile de déterminer expérimentalement par la méthode classique de mesures au pont à courants alternatifs, d'une part les coefficients 2 (R-M) et $\left(\frac{G-K}{2}\right)$, en opérant sur le circuit, d'autre part les coefficients $\frac{R+M}{2}$ et 2 (G + K) en opérant sur l'approprié et en fermant le circuit par la terre.

Dans les conditions habituelles de pose des circuits téléphoniques, la partie réelle de 2 (R-M), c'est-à-dire la résistance apparente linéïque du circuit, est de l'ordre de quelques ohms par kilomètre (environ cinq ohms pour un fil de cuivre de 3 mm. de diamètre). La partie imaginaire du même coefficient, c'est-à-dire la self induction apparente linéïque du circuit est de l'ordre de 2,5 millihenrys par kilomètre. La perditance apparente du circuit est assez variable, et peut être de l'ordre du micromho par kilomètre. Quand à sa capacité apparente elle est de l'ordre de 5 millimicrofarads par kilomètre.

Ainsi, pour les fréquences industrielles comprises entre 16.2/3 et 50 périodes par seconde, la constante de propagation du circuit est de l'ordre de 0,005 par kilomètre. Cette remarque permet d'employer dans la discussion des problèmes, les formules approchées obtenues en réduisant aux premiers termes de leur développement, les exponentielles que comporte la solution générale des équations.

Cherchons maintenant à préciser la signification des termes en Φ et en Q.

$\Phi_a - \Phi_b$ représente le flux traversant le circuit. $\left(\frac{\Phi_a + \Phi_b}{2} \right)$, moyenne des flux balayés par l'ensemble des conducteurs diffère peu du flux qui serait balayé par un conducteur unique, situé entre les deux fils du circuit.

Nous avons indiqué précédemment quelle est la valeur des échanges Q_a et Q_b en fonction des potentiels U_a et U_b que l'on pourrait observer à l'emplacement des fils *a* et *b*, si ces fils n'y étaient pas.

$$\begin{cases} Q_a = - c_{aa} U_a - c_{ab} U_b \\ Q_b = - c_{ab} U_a - c_{ab} U_b \end{cases}$$

Ainsi :

$$\frac{Q_a - Q_b}{2} = - \frac{c_{aa} - c_{ab}}{2} (U_a - U_b)$$

$$Q_a + Q_b = - 2 \, (c_{aa} + c_{ab}) \, \frac{U + U_b}{2}$$

$\frac{c_{aa} - c_{ab}}{2}$ est la capacité apparente du circuit.

$2 \, (c_{aa} + c_{ab})$ est la capacité apparente de l'approprié.

On peut dire que $\frac{U_a + U_b}{2}$ représente le potentiel du champ en un point voisin du milieu de *a* et *b*. Mais on ne peut pas définir simplement un fil unique, situé à proximité de *a* et *b*, dont la capacité serait justement $2 \, (c_{aa} + c_{ab})$.

Ceci étant, on peut aborder la recherche et la discussion des solutions du problème.

Si on désigne par Z_0 l'impédance caractéristique du circuit, et par γ sa constante de propagation ;

Par Z_0 l'impédance caractéristique de l'approprié, et par δ sa constante de propagation ;

La solution générale des systèmes du circuit et de l'approprié est évidemment :

$$\begin{cases} V = A \exp.(-\gamma x) + B \exp.\gamma x - j\omega \dfrac{Q_a - Q_b}{G - K} \\ I = \dfrac{1}{Z_0}\Big[A \exp.(-\gamma x) - B \exp.\gamma x\Big] - j\omega \dfrac{\Phi_a - \Phi_b}{2(R - M)} \end{cases}$$

$$\begin{cases} \mathcal{V} = \mathcal{A} \exp.(-\delta x) + \mathcal{B} \exp.\delta x - j\omega \dfrac{Q_a + Q_b}{2(G+K)} \\ \mathcal{I} = \dfrac{1}{Z_0}\Big[\mathcal{A} \exp.(-\delta x) - \mathcal{B} \exp.\delta x\Big] - j\omega \dfrac{\Phi_a + \Phi_b}{R + M} \end{cases}$$

A, B, $\mathcal{A}$, $\mathcal{B}$, étant quatre constantes qui se calculent en fonction des conditions aux extrémités de fils (1).

Dans le cas général, ces conditions aux extrémités s'expriment par des équations telles, qu'après quelques transformations simples, elles se mettent sous la forme :

$$V = m\,I + n\,\mathcal{I}$$
$$\mathcal{V} = p\,I + q\,\mathcal{I}$$

(On obtient un tel système pour chaque extrémité).

Dans un tel cas, on ne peut exprimer les constantes A et B du premier système, en fonction des seuls coefficients de ce système : on doit faire intervenir les constantes de l'autre. Nous donnerons plus loin une interprétation physique de ce fait analytique.

Pourtant, dans certains cas, il n'en va pas ainsi, et la solution de chacun des systèmes du circuit et de l'approprié peut être calculée comme si l'autre système n'existait pas. C'est en particulier ce qui arrive, quand, à chacune des extrémités des fils, une au moins des quantités V, I, $\mathcal{V}$, et $\mathcal{I}$, s'annule. Parmi ces cas figure celui d'un circuit téléphonique isolé du sol à ses extrémités.

---

(1) Les développements qui suivent, relatifs à la détermination des constantes des équations générales du circuit et de l'approprié, peuvent être détachés de l'étude actuelle, et considérés comme un aperçu de la théorie de l'appropriation des circuits téléphoniques à la télégraphie.



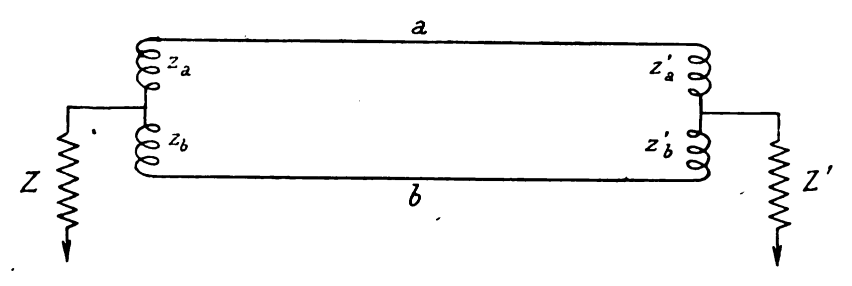
Quoi qu'il en soit, cherchons l'expression des conditions aux limites dans le cas général du circuit approprié.

Considérons un circuit de longueur l, comportant à ses extrémités des appareils mis à la terre en un de leur point à travers des impédances.

Soient Z et Z' les impédances de mise à la terre.

z_a, z_b, z_a', z_b', les valeurs des impédances des appareils, comprises respectivement entre les dérivations vers la terre et l'extrémité des fils a et b. (L'accent se rapporte à l'extrémité $x = o$.)

Désignons enfin par m un coefficient d'action mutuelle (par induction ou capacité), de chacun des demi-enroulements de la bobine, sur l'autre demi-enroulement.



En exprimant les conditions aux limites, à l'origine, on a :

$$\begin{cases} -V_a = Z\,\mathcal{I} + z_a I_a - m I_b \\ -V_b = Z\,\mathcal{I} + z_b I_b - m I_a \end{cases}$$

d'où on tire :

$$\begin{cases} -V = (z_a + z_b + 2m)\,I + \dfrac{z_a - z_b}{2}\,\mathcal{I} \\ -\mathcal{V} = \left(Z + \dfrac{z_a + z_b}{2} - \dfrac{m}{2}\right)\mathcal{I} + (z_a - z_b)\,I \end{cases}$$

On obtiendrait un système analogue pour l'extrémité $x = l$.

Ainsi, lorsque $z_a = z_b$; $z_a' = z_b'$, le système des conditions aux limites se réduit à :

$$\begin{cases} V = (z_a + z_b + 2m)\,I = 2(z + m)I \\ \mathcal{V} = \left(Z + \dfrac{z_a + z_b}{4} - \dfrac{m}{2}\right)\mathcal{I} = \left(Z + \dfrac{z}{2} - \dfrac{m}{2}\right)\mathcal{I} \end{cases}$$

Le système du circuit et celui de l'approprié peuvent être résolus séparément.

Chaque fois qu'il en est ainsi, il suffit d'une simple transposition des formules établies dans le cas du fil unique, pour obtenir les formules relatives au problème nouveau. Nous laissons au lecteur le soin de procéder à ces changements de variable.

Même plus, comme les coefficients qui interviennent dans les équations du circuit ou de l'approprié sont du même ordre de grandeur que celles qui interviennent dans le cas du fil unique, les remarques faites lors de la discussion sommaire des formules alors établies subsistent à peu près sans modifications.

Des méthodes analogues à celles qui permettent de déterminer Φ et Q, dans le cas d'un fil unique, peuvent être imaginées pour déterminer le flux moyen $\frac{\Phi_a + \Phi_b}{2}$, la charge totale $Q_a + Q_b$, le flux transversal $(\Phi_a + \Phi_b)$ et la charge $\frac{Q_a - Q_b}{2}$.

Ceci étant, revenons à l'étude du cas général, lorsque $z_a \neq z_b$; $z_a' \neq z_b'$. Il n'y a alors aucune difficulté de principe à calculer les constantes A, B, $\mathcal{A}$, $\mathcal{B}$, en fonction de Z, Z', z_a, z_b, z_a', z_b'. En fait, le calcul est à peu près inextricable et il y a lieu de l'éviter car il ne saurait conduire qu'à des expressions trop difficiles à interpréter ou à discuter.

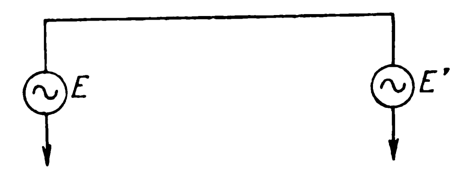
Remarquons que dans la pratique, le problème qui se posera, sera relatif à un circuit bouclé à ses deux extrémités sur des bobines d'appropriation. Alors z_a et z_b représenteront les impédances apparentes de deux moitiés d'enroulement, qui par construction seront aussi semblables l'une à l'autre que possible. Dès lors, $(z_a - z_b)$ sera faible devant $2\,(z_a + z_b + 2m)$ et souvent devant $\left(Z + \frac{z_a + z_b}{4} - \frac{m}{2}\right)$. Dans les équations définissant les constantes A, B, $\mathcal{A}$, $\mathcal{B}$, les expressions $\left(\frac{z_a - z_b}{2}\right)\mathcal{I}$, et $(z_a - z_b)\,I$ pourront être négligées en première approximation, et considérées en seconde approximation, comme des termes correctifs susceptibles d'être calculés sans rigueur excessive, par exemple en attribuant à I et $\mathcal{I}$ les valeurs calculées dans la première approximation.

Ceci revient à admettre que, dans le cas d'un circuit comportant des bobines d'appropriation mal équilibrées (quant aux impédances), les courants et tensions, V, I, $\mathcal{V}$, $\mathcal{I}$ observables sont la somme :

1) des tensions et courants observables dans un circuit à bobines bien équilibrées, de même impédance totale ;

2) des tensions et courants qui seraient développés lorsqu'on applique aux extrémités des fils (après suppression des impédances terminales), soit des forces électromotrices $\frac{z_a - z_b}{2} \cdot \mathcal{I}$ et $-\left(\frac{z_a' - z_b'}{2} \cdot \mathcal{I}'\right)$ entre fils (dans le cas de V et I), soit des forces électromotrices $(z_a - z_b)$ I et $-(z_a' - z_b')$ I' entre la terre et les fils, groupés en parallèle (dans le cas de $\mathcal{V}$ et de $\mathcal{I}$).

Ces courants et tensions se calculent facilement sachant que dans le cas d'un simple fil d'impédance linéique R les valeurs des



tensions et courants développés par l'application de forces électromotrices E et E', aux extrémités $x = o$ et $x = l$, entre le fil et la terre sont en première approximation.

$$\begin{cases} V = \dfrac{E(l - x) + E'x)}{l}. \\ I = \dfrac{E - E'}{Rl} \end{cases}$$

Dans les développements précédents nous avons montré comment pouvaient se calculer les quantités V, I, $\mathcal{V}$, $\mathcal{I}$, par simple transcription, avec changements de notation convenables, des formules établies dans le cas d'un simple fil. Connaissant ces quantités on pourrait aisément en tirer les tensions individuelles des fils et les courants qui les parcourent. Cela serait sans inté-

rêt car, dans la pratique, les quatre fonctions V, I, $\mathcal{V}$ et $\mathcal{I}$ sont véritablement celles qui caractérisent le mieux les troubles apportés à l'exploitation télégraphique ou téléphonique par l'induction électromagnétique des lignes voisines des lignes de communications.

Ainsi qu'on l'a remarqué plus haut, lorsqu'un circuit comporte à ses extrémités un appareil parfaitement isolé du sol, le courant qui traverse cet appareil est égal à

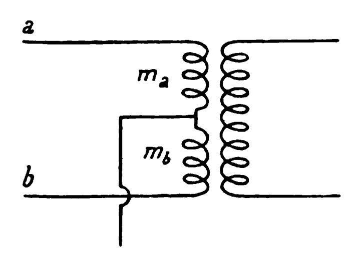
$$I_a = - I_b = \frac{I_a - I_b}{2} = I$$

Si ce circuit alimente un appareil téléphonique à travers une bobine d'appropriation dont le primaire est relié au sol (soit direc-rectement, soit à travers une impédance), l'action exercée sur le téléphone dépend du nombre total d'ampères-tours développés dans le transformateur.

Plus précisément, soient m_a et m_b les coefficients apparents d'induction mutuelle de chacun des enroulements du primaire, avec le secondaire, le courant d'alimentation du téléphone sera proportionnel à :

$$m_a I_a - m_b I_b = (m_a + m_b) I + \frac{m_a - m_b}{2} \mathcal{I}$$

Dans la construction des bobines, on s'efforce à faire $m_a = m_b$.



Alors le courant utile (ou, si on préfère, nuisible dans le cas de courants induits par des lignes industrielles), sera justement I.

Supposons cela réalisé. Nous avons vu que si $z_a = z_b$ le système des équations du circuit peut se calculer indépendamment

du système de l'approprié. Cela signifie que tout changement apporté à la constitution de l'installation télégraphique branché sur l'approprié, (en particulier la manipulation du télégraphe), n'affecte nullement le téléphone.

Mais par contre, s'il y a un déséquilibre soit des impédances soit des mutuelles inductances avec secondaire, des demi-enroulements primaires de la bobine d'appropriation, tout ce qui se passera sur les installations télégraphiques aura sa répercussion sur le téléphone. La manipulation télégraphique aura en particulier pour effets, même en l'absence de pile, de moduler les bruits induits dans le téléphone par les lignes industrielles voisines

Ainsi on peut donc dire que I et $\mathcal{I}$ caractérisent bien le trouble apporté à l'exploitation téléphonique, I produisant un trouble permanent et pour ainsi dire, normal, $\mathcal{I}$ accentuant les conséquences fâcheuses du déséquilibre des bobines.

Le courant $\mathcal{I}$ est aussi la caractéristique du trouble apporté au fonctionnement des appareils télégraphiques utilisant l'approprié.

D'un autre côté, la tension $\mathcal{V}$, dont diffèrent généralement très peu des tensions V_a et V_b des conducteurs représente pratiquement la tension à laquelle sont portés les fils et les installations qui y sont reliées. C'est à une valeur excessive de cette tension que sont dus un certain nombre d'accidents, d'importance variable, dont peuvent être victimes le personnel ou le matériel (secousses en cas de contact avec les fils ou les appareils, production d'étincelles ou d'arcs entre les conducteurs et les masses voisines de potentiel nul ; claquage de câbles etc...).

De la discussion faite à propos des effets d'induction sur un fil unique, résulte que la tension $\mathcal{V}$ et le courant $\mathcal{I}$, seraient considérablement réduits, dans le cas d'un circuit terminé à une de ses extrémités par un appareil parfaitement isolé du sol, et à l'autre extrémité par une bobine d'appropriation (qui naturellement serait parfaitement équilibrée), mise à la terre en son milieu à travers une résistance petite.

Le circuit ne saurait alors être approprié. Mais rien n'empêcherait de le combiner avec un autre circuit.

D'un autre côté, sans entrer dans des développements laborieux

on pressent que le courant I pourra être considérablement réduit, si le circuit comporte des transpositions convenablement faites.

Tous les développements précédents ont été faits dans l'hypothèse de circuits bien équilibrés en ce qui concerne la répartition des constantes des fils. Les déséquilibres qui peuvent se rencontrer dans la pratique sont généralement assez faibles. On se fera donc une idée assez exacte de l'allure des phénomènes, en admettant que l'impédance de l'admittance linéïque de chaque conducteur sont égales à la moyenne des impédances et admittances propres, et que les différences entre ces valeurs individuelles et la valeur moyenne, sont localisées aux extrémités de la ligne, et interviennent ainsi dans l'expression de l'impédance des appareils connectés aux extrémités.

Cas de fils ou de circuits appartenant à une nappe de fils. — Le calcul, un peu précis, des effets d'induction électromagnétique sur un fil ou un circuit appartenant à une nappe de fils, est pratiquement impossible ; il serait d'ailleurs parfaitement illusoire car il supposerait la connaissance de constantes échappant complètement à l'expérience (tous les l, c, m, g,...).

La seule chose que l'on puisse rechercher, c'est de se rendre compte de l'allure générale des phénomènes.

La présence de conducteurs isolés du sol au voisinage de fils ou de circuits actifs, ne se manifeste pratiquement pas. Les courants qui peuvent les parcourir sont toujours ridiculement petits, et ne sauraient exercer d'effets appréciables d'induction. Le potentiel que prend ces conducteurs sous l'action d'un champ électromagnétique est généralement assez peu différent du potentiel qu'il y aurait à l'endroit où ils se trouvent, s'ils n'y étaient pas.

La présence de conducteurs reliés à la terre, au voisinage de fils ou de circuits a au contraire pour effet de modifier l'importance des effets électromagnétiques, sans toutefois changer leur allure générale.

Considérons, pour fixer les idées, le cas d'un conducteur a (dans une situation quelconque). Les équations relatives à a conducteur s'écrivent :

$$\left\{\begin{aligned} -\frac{\partial l_a}{\partial x} &= \left(r_a + l_a \frac{\partial}{dt}\right) I_a + \frac{d\Phi_a}{dt} \\ -\frac{\partial V_a}{dx} &= \left(g_{aa} + c_{aa}\frac{\partial}{\partial t}\right) V_a + \frac{dQ_a}{dt} \end{aligned}\right.$$

Approchons de ce conducteur des conducteurs b, c... que nous supposerons reliés directement au sol à leurs deux extrémités. Pratiquement, le potentiel de ces conducteurs sera nul. Ils pourront être parcourus par des courants intenses si les flux qu'ils balayent sont importants. Leurs courants de charge électrique seront généralement de faible intensité et pourront n'être pas considérés.

Écrivons les équations relatives au conducteur a dans les conditions nouvelles.

$$\left\{\begin{aligned} -\frac{\partial V_a}{\partial x} &= \left(r_a + l_a \frac{\partial}{\partial t}\right) I_a + \Sigma\, m_{ab} \frac{\partial I_b}{\partial t} + \frac{d\Phi_a}{dt} \\ -\frac{\partial I_a}{\partial x} &= \left(g_{ao} + c_{aa}\frac{\partial}{\partial t}\right) V_a + \frac{dQ_a}{dt} \end{aligned}\right.$$

En gros, on peut admettre que les courants I_b sont uniformes le long des fils b. Ainsi, tout se passera, au point de vue de l'induction magnétique, comme si les fils b n'existaient pas, le flux balayé par le fil étant augmenté (les I_b étant à peu près en quadrature avec les Φ).

Si au lieu d'un fil a, on avait un circuit, il pourrait arriver que le flux induit dans le circuit par les fils b, soit supérieur au flux induit indirectement par la ligne d'énergie.

Dans les équations nouvelles, c_{aa} n'a pas la même valeur que dans l'équation relative à un seul fil. c_{aa} est d'autant plus grand que les conducteurs b sont plus nombreux et plus rapprochés de a. De même $g_{ao} = g_{aa} + g_{ab}$.

L'effet de cet accroissement de G, ne se manifestera sensiblement que dans les cas d'un fil ou plutôt d'un circuit isolé. La tension à laquelle sera porté le fil, ou la tension moyenne du circuit, pourront être notablement diminuées à cause du voisinage des fils b reliés à la terre.

Quoi qu'il en soit, on voit que la forme des équations générales

n'est pas modifiée, que seulement les facteurs quantitatifs qui y interviennent sont un peu altérés.

Dans tous les développements qui précèdent, on n'a considéré que le cas de lignes à configuration uniforme, non transposées. Des transpositions bien faites, on le conçoit aisément, réduisent considérablement les effets de l'induction électromagnétique des lignes voisines. Malgré tout, les formules établies dans cette note, permettent de se rendre compte de l'allure générale des phénomènes quand subsistent des résidus d'anti-induction.

S'il est intuitif d'admettre que, dans l'ensemble, des transpositions atténuent l'importance des phénomènes perturbateurs, il est moins facile de se rendre compte a priori, de la répartition locale des courants et tensions le long d'une ligne transposée. Peut-être entreprendons-nous quelque jour cette étude, qui fera l'objet d'une note ultérieure si elle conduit à des résultats intéressants.

SUR LA VÉRIFICATION DES PILES MICROPHONIQUES PAR LES OUVRIERS MONTEURS

Par M. REYNAUD-BONIN,
Ingénieur en Chef des Postes et Télégraphes.

La seule règle administrative en vigueur pour la vérification des piles microphoniques par les ouvriers monteurs est la suivante :

« Toute pile microphonique qui donne moins de $0^{V},8$ aux bornes quand elle est fermée sur une résistance de 5 ohms doit être mise au rebut. »

L'application de cette règle peut être considérée comme à peu près satisfaisante quand le microphone est alimenté par un seul élément au manganèse : mais, ainsi que nous le montrerons facilement, elle ne vaut plus rien quand la source alimentaire comporte deux éléments au manganèse ou quand elle est constituée par des piles à dépolarisation par l'air.

L'objet de la présente étude est de rechercher une autre règle pratique qui soit valable dans tous les cas.

*
* *

Pour chaque type de microphone, il est possible de déterminer par des mesures très exactes quelle est la quantité d'énergie qu'il est capable de développer, en fonction de la différence de potentiels appliquée à ses bornes. Les quantités d'énergie seront exprimées, par exemple, en « tant pour cent « de la quantité d'énergie étalon développée par le microphone étalon de la

téléphonométrie sur le circuit standard (1), les mesures du microphone en essai étant faites également sur le circuit standard.

Ces déterminations ont été effectuées au laboratoire du Service d'Études, notamment sur le microphone Marty de 8 ohms, le plus usuel et l'un des meilleurs des microphones à batterie locale. La grande majorité des appareils téléphoniques à batterie locale en France sont montés avec des microphones Marty, et, comme il est même à présumer qu'aucun autre type de microphone ne sera introduit de longtemps, il nous a paru que les règles pratiques de vérification des piles microphoniques devaient tout spécialement être établies pour cadrer avec la vérification de l'alimentation des microphones Marty de 8 ohms.

La courbe de variation de l'énergie engendrée dans un microphone Marty (2) en fonction de la différence de potentiels appliquée à ses bornes est donnée ci-contre.

Pour assurer au microphone Marty l'efficacité étalon de transmission, il faut pouvoir appliquer effectivement $1^{V},56$ à ses bornes.

Si l'on admet que l'énergie engendrée par le microphone ne doit jamais descendre à moins de 30 % de celle que pourrait développer le microphone étalon sur le même circuit, on voit sur la courbe que la tension aux bornes du microphone Marty ne doit jamais descendre au-dessous d'un volt.

On pourrait donc facilement adopter la règle suivante pour la vérification d'une source microphonique.

« Toute source microphonique, pour microphone Marty, constituée avec n'importe quelle sorte d'éléments au manganèse ou à dépolarisation par l'air, constituée aussi indifféremment par un ou deux éléments de pile, devra toujours être telle, que la différence de potentiels qu'elle applique au microphone ne descende jamais au-dessous d'un volt.

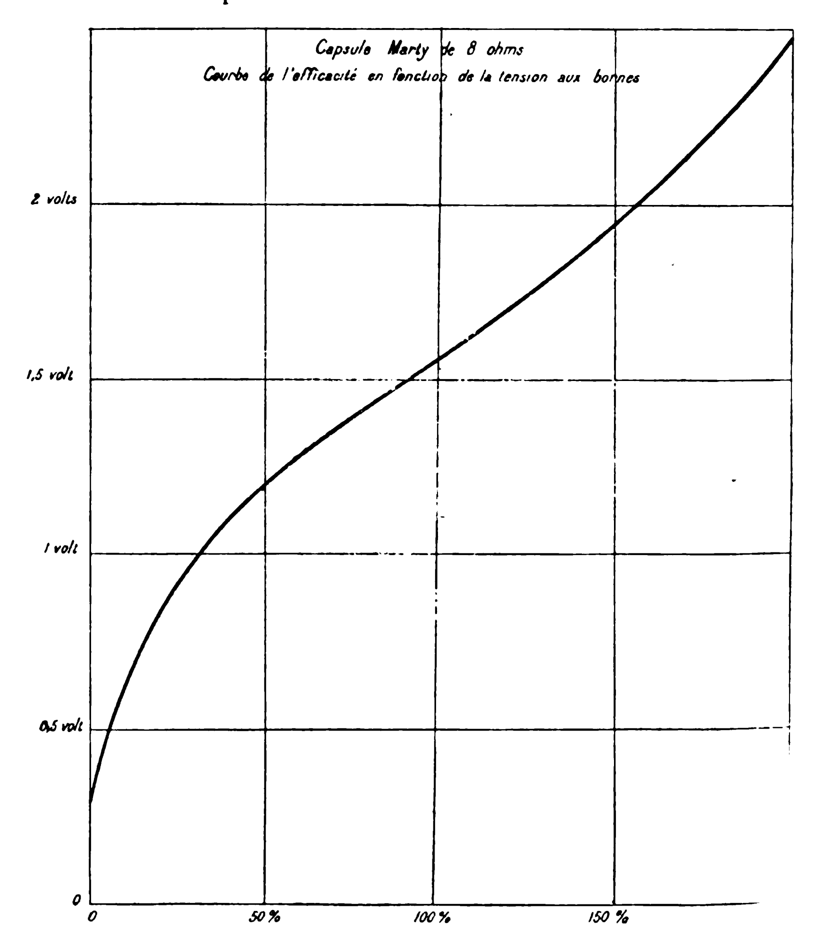
---

1. Se reporter pour ces définitions aux traités généraux sur les appareils téléphoniques.

2. On suppose évidemment qu'il s'agit d'un microphone Marty de bonne qualité. On peut effectivement compter, dans la plupart des cas, sur la bonne qualité de ce microphone.



« La mesure devra toujours se faire en mettant la source en débit réel sur le microphone *pendant au moins une minute* et en branchant ensuite le voltmètre aux bornes extrêmes de la source *sans arrêter le débit dans le microphone*. On lira la valeur de E sur le voltmètre, et la source sera considérée comme suffisante si la lecture est supérieure à 1 volt. »



La règle ainsi énoncée est simple (1) et elle garantit aux

(1) La simplicité de cette règle est réellement énorme ; il suffit au monteur de donner un seul coup de voltmètre pour l'ensemble de la source microphonique.

microphones une efficacité suffisante, quoique devant être naturellement considérée comme une limite inférieure.

Il serait bon de compléter la règle par la remarque suivante :

« Une source microphonique fraîchement installée devra donner à la vérification, *en débit sur le microphone*, un chiffre égal *ou supérieur* à $1^{V}, 5$ ».

Grâce à cette dernière précaution, le microphone alimenté par une source fraîche pourra partir avec une efficacité *au moins égale* à l'efficacité étalon.

*
* *

Il nous reste maintenant à justifier par quelques exemples la nécessité de l'introduction de ces nouvelles règles.

PREMIER EXEMPLE. — MICROPHONE ALIMENTÉ PAR UN SEUL ÉLÉMENT DE PILE AU MANGANÈSE.

La règle appliquée actuellement permet de conserver en service une pile dont la force électrique est tombée à 1 volt et dont la différence de potentiel sur 5 ohms accuse un peu plus de $0^{V},8$. C'est là un cas d'usure tout à fait normal et fréquent. Une telle pile applique seulement $0^{V},87$ au microphone Marty et ne lui procure qu'une efficacité de 21 °/₀ par rapport à l'étalon.

La nouvelle règle proposée serait un peu plus rigoureuse puisqu'elle garantirait 30 °/₀ d'efficacité au lieu de 21 °/₀. L'amélioration des conversations justifierait la mise au rebut un peu plus tôt.

DEUXIÈME EXEMPLE. — MICROPHONE MARTY ALIMENTÉ PAR DEUX ÉLÉMENTS AU MANGANÈSE EN SÉRIE.

Ce cas se présente chez les abonnés qui causent souvent à l'interurbain.

Si le monteur applique les règles actuelles, il rebutera une batterie constituée de deux piles ayant chacune 1 volt de force

électromotrice et donnant chacune $0^V,8$ de tension sur 5 ohms.

Avec la nouvelle règle proposée, le monteur donnerait un coup de voltmètre sur l'ensemble de la batterie en débit sur le microphone et il trouverait $1^V,54$. *La batterie est encore excellente* pour le microphone Marty et lui procure une efficacité égale à 97 °/₀ de l'efficacité étalon.

Troisième exemple. — Microphone Marty alimenté par deux éléments a dépolarisation par l'air.

Le succès remporté par les éléments à dépolarisation par l'air oblige l'Administration à se préoccuper de définir les règles de vérification des batteries microphoniques qui seraient constituées avec ces éléments.

Dans un bureau où est effectué un essai de ces piles, un ouvrier monteur a mis au rebut des éléments qui lui ont donné moins de $0^V,8$ sur 5 ohms. Ce monteur appliquait la règle administrative et il ne saurait en aucune manière être blâmé de son initiative. Cependant les piles qu'il a mises au rebut étaient encore de toute première qualité, ainsi que je le montre par la nouvelle règle.

Avec la nouvelle règle proposée, les deux éléments indûment rebutés étaient capables de donner, en série sur le microphone de l'opératrice, et en débit prolongé sur celui-ci, une tension de $1^V,8$ aux bornes. L'efficacité du microphone Marty ainsi alimenté est égale à 132 °/₀ de l'étalon ! ! !

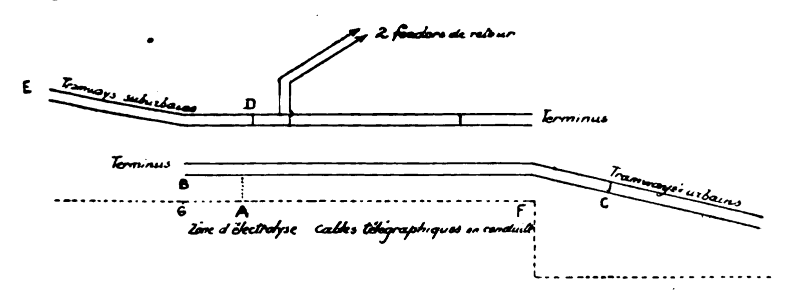
Les éléments de pile indûment rebutés contenaient encore chacun près de 300 grammes de zinc. Ils en avaient usé à peine une centaine de grammes !

On peut saisir par cet exemple l'importance que peut avoir le choix de la nouvelle règle.

L'ÉLECTROLYSE SUR LES CABLES A DIJON

Par R. PARÉSY,
Ingénieur des Postes et Télégraphes.

Depuis quelques années, les courants vagabonds des tramways électriques de Dijon sont cause d'accidents dus à l'électrolyse des câbles télégraphiques dans le voisinage d'un des feeders de retour. Ces accidents et les procès qui ont suivi entre l'administration et les tramways ont donné lieu à un certain nombre d'expériences intéressantes.



Réseau des tramways urbains et des câbles en égout.

Exposé de la situation : Les câbles de Dijon sont construits pour la plus grande partie en égouts où ils croisent et longent les lignes des tramways urbains en de nombreux points.

Dans la région du feeder de retour, siège de l'électrolyse, les câbles télégraphiques sont placés dans une conduite en grès parallèle aux voies, sur une longueur de 500 mètres environ et à une distance d'environ 10 mètres. Dans cette section, l'existence d'une seconde ligne de tramways suburbains rendait difficile l'attribution et le partage des responsabilités, le feeder de retour de cette deuxième compagnie étant placé au même point que le précédent, suivant le schéma ci-contre.

Les expériences faites le 10 janvier 1924, lors du dernier cas

d'électrolyse constaté, ont permis de se rendre compte que les câbles étaient parcourus par des courants vagabonds appartenant à l'une et à l'autre des deux compagnies, ce qu'établissaient bien les indications et les variations simultanées des deux voltmètres placés, l'un sur une section de 30 mètres des câbles en A, l'autre sur une section B C ou D E de 1 km. prise sur chacune des voies des deux compagnies et permettant de mesurer en même temps la perte de charge kilométrique chacune des deux compagnies étant arrêtée pendant la durée des expériences faites sur l'autre. En cas d'arrêt des deux compagnies, les deux voltmètres restaient au zéro. Les expériences concluaient donc formellement à la responsabilité des deux compagnies et furent consignées dans le procès-verbal.

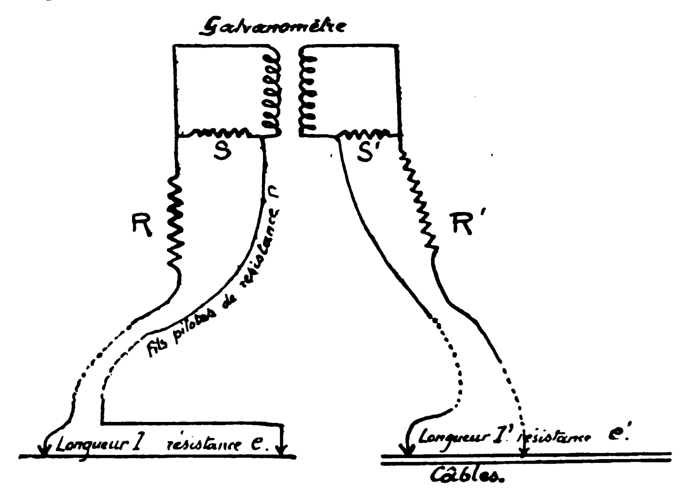
Mais la tâche la plus ardue était de parvenir à une détermination précise de la part de responsabilité incombant à chacune des deux compagnies. Des expériences ultérieures, basées sur le même principe, permirent alors de constater que les courants vagabonds dans les câbles étaient beaucoup plus intenses au point F qu'en A en ce qui concernait les tramways urbains et que l'influence des courants des tramways suburbains était très faible en ce point. Des traces faibles d'électrolyse furent d'ailleurs observées en F, origine de la section de parallélisme, et la plus grande intensité des courants s'explique facilement en observant qu'entre F et A les courants vagabonds s'échappent du câble, suivant une loi qui n'a pas été déterminée. De même pour les tramways suburbains, le point maximum était situé en G, mais dans ce cas l'influence des courants urbains était encore importante. Ces expériences ont permis de remarquer en outre que la variation des intensités des courants vagabonds était extrêmement rapide, et les premières expériences faites dès la constatation de l'électrolyse après une longue période de pluie donnaient des résultats beaucoup plus élevés que celles exécutées une semaine plus tard, après quelques jours de sécheresse. Au moment de l'établissement du procès-verbal de 1921, l'intensité dans le câble était voisine de 6 ampères pour tomber à $0^A,20$ quelque temps après. Des recherches ont d'ailleurs fait

apparaître que tous les cas d'électrolyse antérieurs survenaient immédiatement après la fin de périodes pluvieuses, ainsi qu'il ressortait de l'examen des dates des procès-verbaux et des statistiques de la station météorologique locale. Cette remarque impose l'obligation de faire les mesures et de dresser le procès-verbal dès la connaissance de la détérioration par électrolyse.

Deux cas d'électrolyse antérieurs, datant de la fin des années 1921 et 1922 et pour lesquels la compagnie des tramways électriques de Dijon avait refusé le remboursement des dépenses réclamées par l'administration, les chemins de fer électriques de la Côte-d'Or ayant accepté de leur côté ce remboursement, avaient amené le conseil de préfecture de la Côte-d'Or à prescrire la nomination d'un comité d'experts pour déterminer la responsabilité de chacune des deux compagnies. Reprenant sur des bases plus précises les mesures du procès-verbal du 10 janvier 1924, les experts opéraient ainsi qu'il suit.

Grâce aux différences d'horaire des deux compagnies, toutes les mesures purent être effectuées pendant le fonctionnement de l'une d'elles seulement, sans troubler leur service, ce qui permit d'éviter des corrections délicates et laborieuses. Des fils pilotes furent posés, depuis la faculté des sciences de Dijon où les expériences étaient faites, jusqu'aux points F et G ; des 4 fils pilotes aboutissant à chacun de ces points, deux étaient reliés aux extrémités d'une section d'une vingtaine de mètres de câble, les deux autres en deux points de la voie distants de 15 à 20 m. et ne comprenant pas de joint non soudé à son intérieur. Les 4 fils pilotes appartenant à un groupe étaient reliés aux deux enroulements d'un galvanomètre différentiel suivant le schéma ci-contre. Les fils étaient connectés de façon à ce que les déviations soient opposées pour chacun des enroulements. L'étalonnage du galvanomètre permettait de procéder en ne reliant qu'un seul des enroulements, à des mesures de courant passant dans le circuit du galvanomètre et connaissant sa résistance, la valeur du shunt S de la résistance R, celles r des fils pilotes et S de la section envisagée d'en déduire l'intensité parcourant la section du câble ou des voies étudiées.

Mais la valeur de la méthode reposait surtout sur le fait qu'elle permettait des mesures d'opposition. Par un ajustement convenable des shunts S et S′ et des résistances R et R′, il était possible de ramener le spot au voisinage du zéro. Le spot ne restait pas immobile, mais son amplitude de part et d'autre du



zéro était très faible et de l'ordre du 1/20 des amplitudes obtenues avec les mêmes valeurs de S et de R en ne conservant qu'un seul des circuits. Ces petites variations pouvaient provenir de l'influence des joints au passage des voitures ou d'autres causes non déterminées. Quoi qu'il en soit, le maintien du spot dans ces conditions permettait de définir le rapport entre les différences de potentiel aux extrémités de la section de câble et de la section des voies envisagées et par suite le rapport des intensités de courant, rapport que les experts ont dénommé coefficient de nocivité pour la compagnie étudiée. A titre d'indication, les courants parcourant le câble, tels qu'ils furent calculés par la précédente méthode variaient entre 0^{A},3 et 2 ampères après une période de pluies. Les mêmes expériences exécutées sur l'autre compagnie permettent de définir à son tour son coefficient de nocivité. Naturellement ces coefficients de nocivité sont variables suivant l'état du sol, c'est-à-dire sa teneur en humidité et, bien que la variation soit du même sens, elle n'est

pas du même ordre pour les deux compagnies, la nature du sol pouvant différer profondément de l'une à l'autre. Des expériences nombreuses et répétées, surtout au moment des chutes de pluies (puisque cette période est celle qui engendre les phénomènes d'électrolyse les plus intenses) permettent de déterminer le coefficient de nocivité moyen propre à chaque compagnie.

Il ne reste plus alors qu'à connaître le rapport des intensités des deux compagnies. Les tramways urbains possédant deux feeders de retour, deux compteurs furent installés pendant quelques jours sur chacun d'eux pour déterminer le rapport des intensités empruntant le feeder incriminé et l'autre. Ces mesures firent d'ailleurs apparaître un déséquilibre important entre les deux feeders et ont montré la nécessité pour les tramways urbains de modifier l'établissement de leurs feeders et même d'en construire de nouveaux mieux répartis.

La connaissance des consommations des deux compagnies pendant une même période relevée à l'usine génératrice de la Société dijonnaise permit ensuite de déterminer le rapport des quantités d'électricité que chacune d'elles a renvoyée à l'usine par le feeder voisin de la société électrolysée.

Le rapport des responsabilités de chacune des deux compagnies sera alors le produit du rapport de ces quantités d'électricité par le rapport des coefficients de nocivité.

Les experts concluaient ainsi à une responsabilité de 94,7 % pour les tramways de Dijon et de 5,3 % pour les tramways départementaux.

Dans son opposition à l'arrêté du conseil de préfecture qui les avait déjà condamnés le 22 août 1923, les tramways de Dijon contestaient la valeur des expériences faites lors de l'établissement des précédents procès-verbaux : mesure de la perte de charge sur les voies, de la différence de potentiel entre câbles et rails et de l'intensité du courant sortant du câble. Cette dernière expérience, faite en plaçant un ampèremètre entre les câbles et les rails, n'a en effet aucune valeur car elle modifie le régime des courants en substituant la résistance de l'ampèremètre à celle du sol. Les experts ont, par contre, déclarées

valables les deux autres mesures et leur méthode permet de déterminer l'intensité du courant dans le plomb des câbles connaissant sa résistance.

La compagnie des tramways contestait également la valeur de ces expériences à cause de leur faible durée, limitée par l'obligation d'arrêter successivement le trafic des deux compagnies. Il suffit, dans ce cas, avant l'établissement du procès-verbal d'électrolyse, de déterminer, d'accord avec les représentants des compagnies, quelle sera la durée des expériences.

Enfin, la compagnie des tramways ne se reconnaissait pas responsable des dégâts causés à une ligne télégraphique dont la construction était postérieure à celle de ses voies et elle arguait en outre que l'électrolyse devait être imputable à une protection insuffisante des câbles souterrains. Dans leur rapport, les experts ont déclaré qu'une conduite en grès vernissé constituait une bonne protection des câbles et qu'il n'y avait, en l'espèce, aucune faute de l'administration des Postes et des Télégraphes.

Par son arrêté en date du 22 octobre 1924, le conseil de préfecture a condamné la compagnie des tramways de Dijon au remboursement des dépenses qui lui sont réclamées, s'appuyant sur les considérations suivantes :

« Considérant que l'amende encourue par la compagnie des tramways de Dijon à la suite des deux procès-verbaux de contravention en date des 26 novembre 1921 et 14 octobre 1922 se trouve prescrite aux termes de l'article 640 du code d'instruction criminelle ; qu'il n'y a lieu de condamner ladite compagnie qu'à la réparation du préjudice causé et aux frais des procès-verbaux ;

« En ce qui concerne la réparation du préjudice causé aux câbles télégraphiques, considérant que les trois experts sont d'accord pour reconnaître que les corrosions constatées sont dues à l'électrolyse occasionnée par les courants vagabonds provenant des tramways électriques urbains et de la ligne de Gevrey qui circulent dans les enveloppes des câbles ;

« Considérant que la responsabilité de la compagnie des tramways de Dijon est dès lors engagée, qu'elle ne peut invoquer

pour se libérer de cette responsabilité le fait que l'établissement du tramway serait antérieur à l'installation de la ligne télégraphique, la contravention prévue par le décret du 27 décembre 1851 pouvant être relevée au regard de toutes les lignes de l'État à quelque époque qu'elles aient été posées ;

« Considérant qu'il résulte des constatations et des calculs effectués par les experts Pionchon et Voisenat que la contribution de chaque entreprise aux corrosions électrolytiques devrait être établie comme suit : 94,7 °/₀ pour les T.E.D. et 5,3 °/₀ pour les C.D.C.O., qu'il s'ensuit que la somme réclamée par l'État à la compagnie des tramways de Dijon n'est pas exagérée, qu'il y a lieu, en conséquence, d'accorder à l'État la somme de 2.600 francs réclamée à titre de remboursement des frais effectués par lui pour remettre en état les câbles détériorés ;

« Considérant dès lors que l'opposition formée par la compagnie des tramways de Dijon contre l'arrêté du 22 août 1923 doit être rejetée au fond, que ladite compagnie n'ayant fait aucune offre d'indemnité a rendu le procès inévitable et qu'elle en doit supporter tous les dépens.

Conclusions. — Des faits précédents il résulte que : les procès-verbaux devront être établis sans délais, la grande intensité des courants mise en jeu rendant les expériences plus faciles et plus concluantes ; la mesure simultanée de la perte de charge kilométrique et de la différence de potentiel entre deux points de câble constitue une preuve irréfutable de l'origine des courants vagabonds ; il est possible de déterminer la zone où les courants vagabonds sont maximum dans les câbles. En ces points, on peut couper l'enveloppe de plomb des câbles et la remplacer par un manchon isolant et étanche et mettre le tronçon située vers l'entrée des courants à la terre. Cette expérience faite à Dijon a permis de constater qu'après avoir ainsi interrompu l'enveloppe des câbles en B et en F, cette section B F n'était plus parcourue par aucun courant, mais le régime des courants vagabonds étant modifié, seule une longue expérience pourra indiquer si cette façon de procéder a supprimé toute électrolyse ou a simplement déplacé la zone d'électrolyse.

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUE EN LANGUE FRANÇAISE.

De la propagation des ondes électriques le long des lignes en fer parfaitement isolées, en tenant compte de l'effet pelliculaire. (André Léauté : *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 29 sept. 1924.) — Considérons un fil droit et et circulaire, de rayon a ; soient v et i le potentiel et l'intensité dans une section droite, dont la distance à l'origine est x ; nous désignons le temps par t. Si le conducteur est en cuivre, la théorie classique consiste à écrire deux équations aux dérivés partielles :

$$\frac{\partial v}{\partial x} = ri + l\frac{\partial i}{\partial t}, \tag{1}$$

$$\frac{\partial i}{\partial x} = C\frac{\partial v}{\partial t}, \tag{2}$$

dans lesquelles r, l, C sont la résistance en courant continu, la self-induction et la capacité par unité de longueur. Quelle est l'équation qui, dans notre cas, généralise l'équation (1) ? Entre deux sections droites x et $x + dx$ (qu'on assimile à des surfaces équipotentielles), on décompose le conducteur en une infinité de filets de courant : δ sera la densité de courant dans l'un d'eux situé à la distance z de l'axe, F le potentiel vecteur en son centre, ρ la résistivité en courant continu et μ la perméabilité magnétique. Les lois de l'électricité s'expriment par les équations connues :

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \rho\delta + \frac{\partial F}{\partial t}, \qquad \frac{\partial^2 \delta}{\partial z^2} + \frac{1}{z}\frac{\partial \delta}{\partial z} = \gamma\frac{\partial \delta}{\partial t} \qquad \left(\gamma = \frac{4\pi\mu}{\rho}\right). \tag{3}$$

La série

$$\delta = \sum_{1, 2, \ldots m, \ldots} B_m\left[e^{mt} + \frac{\gamma z^2}{(2)^2} m e^{mt} + \frac{\gamma^2 z^4}{(2.4)^2} m^2 e^{mt} + \ldots\right]$$

est une solution. Si δ_0 est la valeur de δ sur l'axe et si l'on désigne

par $\delta_0^{(1)}, \delta_0^{(2)}, \ldots$ les dérivés de δ_0 par rapport au temps, l'intensité i s'écrit

$$i = \frac{\pi}{\gamma}\left[a^2\gamma\delta_0 + \frac{1}{2}\frac{a^4\gamma^2}{(2)^2}\delta_0^{(1)} + \frac{1}{3}\frac{a^6\gamma^3}{(2.4)^2}\delta_0^{(2)} + \ldots\right].$$

De même $\frac{\partial v}{\partial x}, \frac{\partial i}{\partial t}, \frac{\partial^2 i}{\partial t^2}, \ldots$ prennent la forme de développements où les dérivées successives de δ_0 par rapport à t entrent linéairement. Le résultat de l'élimination de δ_0 et de ses dérivées par rapport à t entre cette infinité d'équations linéaires est fourni par le développement connu de Maxwell, à supposer qu'il soit uniformément convergent :

$$(4) \qquad \frac{\partial v}{\partial x} = ri + l\frac{\partial i}{\partial t} - \frac{1}{12}\frac{\mu^2 l}{r}\frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + \ldots$$

L'équation (4) généralise l'équation (1).

Limitons ce développement au premier terme complémentaire ; admettons que l'équation (2) reste valable et examinons quelle modification on apporte dans la théorie de la propagation des surtensions ou des surintensités, en remplaçant l'équation (1) par la suivante :

$$(4\ bis) \qquad \frac{\partial v}{\partial x} = ri + l\frac{\partial i}{\partial t} - w\frac{\partial^2 i}{\partial t^2}.$$

Pour suivre la marche la plus habituelle aux électriciens (1), on se borne au cas où les conditions aux limites et initiales sont telles que les oscillations libres du potentiel v et de l'intensité i puissent être exprimées par des séries de la forme

$$S = \sum_{1,2,\ldots,m,\ldots} (l_m \sin \alpha_m x + m_m \cos \alpha_m x)\, e^{\beta_m t},$$

dans lesquelles α_m est réel.

Entre α_m et β_m il existe alors une relation

$$-wC\beta^3_m + lC\beta^2_m + rC\beta_m + \alpha^2_m = 0$$

qui, à toute valeur de α_m, fait correspondre trois valeurs de β_m ;

(1) M. Émile Picard a, pour intégrer l'équation des télégraphistes, indiqué une méthode très directe, qu'il serait avantageux de rendre plus familière en électrotechnique (*Bulletin de la Société mathématique de France*, t. 22, 1894 ; *Comptes Rendus*, t. 118, 1894, p. 16).

soient β_{1m}, β_{2m}, β_{3m}. L'une d'elles, la première par exemple, est réelle et positive. La série peut s'écrire

$$S = \sum_{1,2,\ldots,m,\ldots} e^{\beta_{1m}t} (a_m \sin \alpha_m x + b_m \cos \alpha_m x)$$
$$+ \sum_{1,2,\ldots,m,\ldots} e^{\beta_{2m}t} (A_m \sin \alpha_m x + B_m \cos \alpha_m x)$$
$$+ \sum_{1,2,\ldots,m,\ldots} e^{\beta_{3m}t} (C_m \sin \alpha_m x + D_m \cos \alpha_m x).$$

Pour que S ne devienne pas infinie avec le temps, il faut $a_m = b_m = 0$; la première somme disparaît, et la solution est ainsi mise sous la même forme que dans la théorie classique, sans effet pelliculaire.

Des surtensions ou des surintensités oscillatoires peuvent se produire quand β_{2m} et β_{3m} sont imaginaires.

Pour qu'il en soit ainsi, la condition nécessaire et suffisante est

$$\frac{l^2 r^2}{w^2}\left(-1 + 4\frac{l\alpha^2_m}{Cr^2}\right) + 4\frac{r^3}{w}\left(-1 + 9\frac{l\alpha^2_m}{Cr^2}\right) + 27\frac{\alpha^4_m}{C^2} > 0,$$

laquelle se ramène sensiblement, quand w est assez petit, à

$$4\frac{l\alpha_m}{Cr^2} > 1.$$

L'amortissement, c'est-à-dire la demi-somme de β_{2m} et β_{3m}, se calcule sans difficulté ; quand w est assez petit, cet amortissement est sensiblement égal à

$$-\frac{r}{2l}\left\{1 + \frac{rw}{l^2}\left[-1 + 7\frac{l\alpha^2_m}{Cr^2}\right]\right\}.$$

Dans les conditions qui ont été précisées ci-dessus, ont peut donc énoncer ces conclusions :

1° L'effet pelliculaire donne aux divers harmoniques un amortissement différent, alors que cet amortissement serait le même pour eux tous si l'effet pelliculaire était nul ;

2° Quand l'effet pelliculaire est assez petit, l'amortissement de tous les termes est accru par l'effet pelliculaire ;

3° L'augmentation de l'amortissement devient plus marquée à mesure que l'harmonique est d'un rang plus élevé.

Quelques-uns de ces résultats avaient été entrevus par R.-W. Waggner, sans que cet auteur en ait toutefois pu à notre connaissance, donner aucune démonstration valable. Ils confirment que les lignes en fer offrent de l'intérêt au point de vue de la protection contre les ondes à front abrupt.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

Le nouveau câble téléphonique anglo-hollandais : Un grand progrès réalisé dans la technique du câble sous-marin (*The Electrician :* 5 septembre 1924). — Le rapide développement des communications téléphoniques entre la Grande-Bretagne et le continent a rendu nécessaire la réalisation d'un accroissement considérable dans le nombre des circuits pour permettre l'écoulement rapide du trafic; et, il y a quelque temps déjà, les ingénieurs des deux côtes de la Manche ont reconnu qu'un changement radical devait être apporté dans le type de câble sous-marin employé jusqu'ici, avant qu'un service à la fois économique et efficace pût être établi.

A l'exception de la modification due à la charge, qui fut introduite en 1910, tous les câbles de la Manche et de la mer du Nord son pratiquement semblables, comme structure générale, au câble de 1851, qui établit pour la première fois la liaison télégraphique entre l'Angleterre et la France. L'isolant de ces câbles est constitué par la gutta-percha, ou (dans le cas des câbles téléphoniques chargés posés au cours des dernières années) par la balata, qui, par son pouvoir isolant et ses propriétés physiques, est tout à fait semblable à la gutta, mais qui possède en outre l'avantage d'une perditance moindre. Du fait des caractéristiques électriques et mécaniques de la gutta et de la balata, les conducteurs isolés avec de telles matières ont relativement un grand diamètre, et cela limite le nombre des circuits qu'on peut enfermer dans un câble. En fait, les câbles téléphoniques sous-marins actuellement existants contiennent quatre conducteurs seulement, ce qui constitue presque le nombre maximum qu'on peut employer ; sinon, le poids exagéré du câble compromettrait la bonne exécution des réparations, particulièrement

dans la mer du Nord où les conditions défavorables du temps imposaient toujours des manœuvres rapides.

De toute évidence, par conséquent, la réalisation, à un prix minimum, d'un accroissement sensible dans le nombre des circuits, était un problème qu'on ne pouvait résoudre en employant le type de câble qui avait si bien rempli son office pendant de nombreuses années, et il était clair que le temps était venu de se demander si un câble sous papier, à enveloppe de plomb, ne pourrait pas convenir au service considéré. Ce type de câble possède le grand avantage d'avoir une faible capacité électrostatique en même temps qu'une faible perditance, ce qui constitue un important facteur dans la transmission efficace de la parole ; et de plus, comme les conducteurs isolés ont un diamètre relativement faible, on peut construire un câble de ce genre contenant un grand nombre de conducteurs, sans qu'il devienne trop lourd pour sa manipulation et ses réparations éventuelles.

De tels câbles avaient déjà été posés dans la Baltique, qui est toutefois une mer sans marées, à l'abri des forts courants ; mais, avec quelques modifications dans la structure du câble, il n'y avait pas de raison sérieuse de supposer que ce type de câble se révélerait moins durable ou moins satisfaisant quand il serait posé dans la Manche ou dans la mer du Nord, où dominent grandes marées et forts courants.

Le prix du câble sous papier et sous plomb étant considérablement plus faible que celui du type sous gutta ou sous balata, et les qualités électriques étant supérieures, les conditions essentielles étant nécessaires à l'établissement d'un service économique et efficace semblaient dès lors sur le point d'être atteintes, et le Post Office britannique et l'Administration des Télégraphes de Hollande décidèrent en conséquence de procéder à la fabrication et à la pose d'un câble de ce genre entre les deux pays.

Les grandes lignes de la construction, l'efficacité requise à la transmission, et les essais auxquels le câble devait être soumis, furent préparés par le Département Technique (Engineering Department) du Post Office. Les traits essentiels de la spécification étaient les suivants :

longueur du câble : 86 milles marins ;

nombre de conducteurs : 16, en 4 groupes de 4 ;

chaque conducteur chargé uniformément avec du fil de fer ;

isolement au papier sec ;

armature en fils d'acier galvanisés ;

constante d'affaiblissement (β) par mille marin, à 800 périodes par secondes ($2 \pi f = 5000$), pour chaque circuit : maximum 0,02 ;

influence mutuelle entre circuits, mesurée au crosstalkmètre étalon, alimenté par un microphone devant lequel on parle ; crosstalk entre circuits ordinaires : maximum 400 millionièmes (équivalant à 75 miles de câble standard, ou à un βl de 7,8) ;

crosstalk entre un circuit combinant et son circuit fantôme associé : maximum : 4.000 millionièmes du courant à l'extrémité émettrice (équivalant à 52 miles de câble standard, ou à un βl de 5,5).

Les détails d'exécution et les méthodes de fabrication furent laissés à l'initiative des entrepreneurs, qui reconnurent que les conditions imposées ne pourraient être réalisées qu'en inaugurant une mise en train complètement nouvelle dans le mode de fabrication. On dut élever de vastes ateliers et installer de nouvelles machines avant de pouvoir entreprendre la fabrication. Les matières premières nécessaires à la confection du câble durent être préparées spécialement : par exemple, le fil de cuivre et le ruban formant le conducteur durent être calibrés dans des limites très étroites ; le fil de fer employé pour la charge dut recevoir une section en losange par des méthodes perfectionnées, et il fallut le soumettre à un traitement spécial à chaud pour assurer l'uniformité de sa perméabilité. Même alors, après que toutes les matières premières eurent été analysées et essayées, seule une partie soigneusement choisie fut employée dans la construction du câble. Ces précautions étaient doublement nécessaires pour obtenir une exactitude géométrique dans la forme du câble, et pour réaliser au degré exigé l'immunité contre les perturbations par induction. Au cours de la fabrication, de nouvelles méthodes d'équilibrage furent imaginées, d'où il résulta un haut degré d'uniformité dans les constantes électriques mesurées sur le câble achevé.

Mais le trait le plus frappant de la construction du câble

réside peut-être dans les moyens par lesquels on s'est soustrait à l'obligation de faire de nombreux joints (ce qui est naturellement considéré, dans un câble sous-marin, comme une cause de faiblesse). Les enveloppes de plomb furent posées sur des longueurs continues d'environ 10 milles marins, ce qui dépasse largement toutes les précédentes tentatives de ce genre faites en Angleterre. Si l'on songe que les 86 milles marins de câble auraient nécessité probablement deux ou trois cents joints si le câble avait été fait à la manière habituelle, on se rendra compte qu'un grand pas en avant a été fait dans la fabrication des câbles. Pour terminer, les longueurs de câble de 10 milles furent reliées bout à bout par des épissures, et transportées sur le navire câblier.

Les essais électriques effectués donnèrent les résultats suivants :

Constantes électriques de chaque circuit ordinaire du câble, pour une boucle d'un mille marin, à la température de 60° F. (15°,5 C.) à une fréquence de 800 périodes par seconde :

Résistance : 16,12 ohms étalons ;

Capacité : 0 µF,11 —

Inductance : 19 mH,3 —

Perditance : 2,8 micromhos ;

Impédance caractéristique (Z_0) : 422. — 4° 50′ ;

(L'impédance est très uniforme : entre $2\pi f = 2.000$ et $2\pi f = 12.500$, sa variation est inférieure à $\pm 2\ 1/2$ °/₀) ;

Affaiblissement β par mille marin, à 800 périodes par seconde : 0,0199 ; dans la même quarte, crosse-talk maximum : 200 millioniėmes (équivalant à environ 80 miles de câble standard, ou à un βl de 8,5) ;

Mélange maximum entre combinant et fantôme associé : 2.000 millioniėmes (équivalant à environ 60 miles de câble standard, ou à un βl de 6,2) ;

Entre quartes différentes, de combiné à combiné : maximum : 70 millioniėmes (équivalant à 90 miles de câble standard ou à un βl de 9,5).

Pour ce qui est des essais de cross-talk et de mélange, à propos desquels les conditions à réaliser étaient considérées comme les plus difficiles, on remarquera que les valeurs réelles sont bien meilleures

que les valeurs imposées. En fait, à ce point de vue comme à beaucoup d'autres, le câble en question est probablement supérieur à n'importe quel câble précédemment fabriqué en vue de la transmission téléphonique à grande distance.

Ces excellents résultats doivent être attribués à l'esprit d'initiative, à l'habileté et à la sagacité déployés par les fabricants durant toutes les étapes de la réalisation du câble, et ils justifient les mesures spéciales que l'on a prises pour assurer l'obtention d'un câble apte à remplir largement les difficiles conditions imposées.

Le « Faraday » prit la mer, portant le câble qui pesait 2.150 tonnes. Les opérations de pose commencèrent à Domburg (Walcheren) sur la côte hollandaise, et furent terminées à Aldebourg (Suffolk) le 29 août. Le câble fut posé et les deux extrémités amenées à terre sans qu'il fût nécessaire de faire un joint, une épissure terminale durant l'expédition, ce qui constitue un résultat tout à fait exceptionnel, possible seulement par temps favorable.

A propos de la corrosion des enveloppes en plomb des câbles souterrains (*Electrical World* : 6 septembre 1924). — La corrosion des enveloppes en plomb des câbles souterrains a, pendant longtemps, gêné l'industrie électrique et conduit à l'adoption de nombreux types d'installation coûteux. Dès la construction des premiers câbles sous plomb, on trouva que la meilleure protection contre la corrosion consistait à mettre l'enveloppe de plomb à l'abri du contact du sol ; aussi les conduites en poterie, en asphalte ou goudronnées furent-elles employées dans toutes les installations souterraines.

A la suite de travaux effectués récemment, MM. F. O. Anderegg et R. V. Achatz du laboratoire de recherches techniques de l'université de Purdue, ont réuni une documentation importante sur la corrosion des câbles. Cette documentation, publiée dans le n° 18 du bulletin du laboratoire, donne le détail des essais, faits en laboratoire et en ligne, qui ont conduit aux résultats trouvés.

La corrosion des câbles est due principalement à la présence de matières organiques dans le sol. Celles-ci, en se décomposant, forment des acides qui attaquent les enveloppes des câbles,

notamment l'acide acétique presque toujours produit par la corruption du bois et autres matières végétales. L'alcali, sous la forme de chaux, ciment, gypse, etc..., provoque la corrosion dans quelques cas, et il l'augmente généralement. L'état de desséchement du terrain influe aussi sur le degré de corrosion.

On a reconnu que les enveloppes en plomb étamé résistent mieux à la corrosion que les enveloppes en plomb pur; par contre, celles-ci sont plus résistantes que les enveloppes en plomb antimonié. Il en résulte que le seul moyen de protéger efficacement les enveloppes contre la corrosion consiste à les isoler du sol; toutefois, cette mesure n'est radicale que si les conduites, en poterie ou autres, forment une suite étanche et ininterrompue. L'emploi de ciment, de bois non imprégné, ou de chaux, en contact direct avec les câbles sous plomb ou à leur voisinage immédiat, doit, par conséquent, être soigneusement évité.

Les résultats de ces travaux montrent qu'il faut continuer à poser les câbles sous plomb dans des conduites et que les seules chances de réduire le prix des installations souterraines résident dans la recherche de la fabrication d'une enveloppe de câble non corruptible qui réponde, en même temps, aux exigences techniques et économiques de l'exploitation souterraine. Il faut espérer que l'étude des enveloppes non corruptibles sera poursuivie jusqu'à ce que la question soit complètement résolue.

INFORMATIONS ET VARIÉTÉS.

Concours d'admission des rédacteurs élèves à l'École professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes. — Dans notre numéro de juillet, nous avons publié les questions qui ont été posées, comme épreuves écrites, au concours du printemps dernier. Nous avons en même temps annoncé que nous donnerions les solutions des deux problèmes de mathématiques.

Comme solutions, nous pensons bien faire en publiant aujourd'hui la copie de l'un des agents qui ont pris part au concours, M. Paul Jaubert, afin de montrer que la valeur des candidats est bien, en effet, à la hauteur des difficultés de l'examen.

PREMIER PROBLÈME.

a) Soient le cercle O, le triangle ABC, et le cercle O' circonscrit à ABC.

Soit P' le point où le prolongement du diamètre CD coupe la circonférence O'.

Considérons la puissance du point P par rapport au cercle O (sécantes CPD, BPC). On a :

$$PC . PD = PB . PC = C^{te}$$

puisque C et D sont fixes.

Par rapport au cercle O' (sécantes BPC et APP'), on peut écrire :

$$PA . PP' = PB . PC = C^{te}$$

d'après l'égalité précédente.

On a donc, puisque PA est constant,

$$PP' = C^{te} \text{ également,}$$

et le point P' est fixe. Tous les cercles O' passent donc par P'.

Soient M le milieu de BC, AM la médiane relative à BC, G le point de concours des médianes. La droite OM, qui joint le centre du cercle O au milieu de la corde BC, est perpendiculaire à BC. La

perpendiculaire abaissée de G sur BC sera donc parallèle à OM, et dans le triangle AOM on aura :

$$\frac{OP''}{OA} = \frac{MG}{MA},$$

si l'on appelle P″ l'intersection de la perpendiculaire abaissée de G sur BC et du diamètre.

Comme G est situé au tiers de AM à partir de M, P″ sera au tiers de OA à partir de O.

OA étant fixe, P″ est fixe.

b) Posons :

$$OA = OP = a,$$

et :

$$OB = OC = R.$$

Dans le triangle, ABP, BO est médiane, et l'on a la relation :

$$\overline{AB}^2 + \overline{BP}^2 = 2R^2 + 2a^2. \qquad (1)$$

Dans le triangle ACP, on peut de même écrire :

$$\overline{AC}^2 + \overline{CP}^2 = 2R^2 + 2a^2. \qquad (2)$$

Additionnant (1) et (2), il vient :

$$\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2 + \overline{BP}^2 + \overline{CP}^2 = 4\,(R^2 + a^2).$$

Mais

$$\overline{BP}^2 + \overline{CP}^2 = (BP + CP)^2 - 2\,BP.CP = \overline{BC}^2 - 2\,BP.CP.$$

Le produit BP.CP est la puissance de P par rapport au cercle O ; c'est donc :

$$R^2 - a^2,$$

P étant à la distance a de O.

Finalement :

$$\overline{AB}^2 + \overline{AC}^2 + \overline{BC}^2 = 4\,(R^2 + a^2) + 2\,(R^2 - a^2) =$$
$$= 2\,(3\,R^2 + a^2) = C^{te}.$$

Deuxième problème.

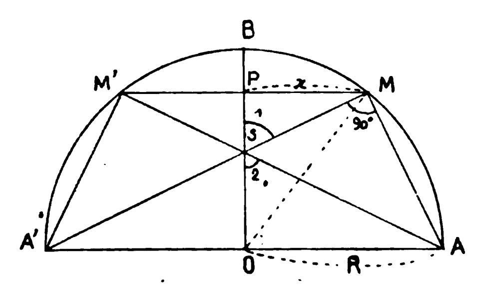
a) Soit la figure ci-contre, établie conformément à l'énoncé. Remarquons que, si les angles S_1 et S_2 sont égaux, les angles M′SM et A′SA, doubles des angles S_1 et S_2, sont aussi égaux. Ils sont d'autre part opposés par le sommet ; donc MS passe par A′ et AS

par M'; l'angle A' MA est inscrit dans la demi-circonférence, donc droit. Ceci est utile à connaître si l'on veut calculer directement le volume engendré par SAM à partir de la formule :

$$\text{Vol. SAM} = \text{surface MA} \times \frac{\text{SM}}{3},$$

puisque SM est la hauteur relative à MA.

Nous calculerons le volume en le considérant comme la différence entre le volume d'un tronc de cône M' MAA' et la somme des deux cônes M' SM et A' SA, cette méthode paraissant plus simple.



Nous connaissons, en effet, les rayons de bases x et R de ces solides. Il suffit d'établir leurs hauteurs, qui sont respectivement OP, SP, SO.

Or on a immédiatement, dans le triangle rectangle OPM :

$$\overline{\text{OP}}^2 = \text{R}^2 - x^2,$$

d'où :

$$\text{OP} = \sqrt{\text{R}^2 - x^2}.$$

Dans les triangles rectangles semblables PSM et OSA (ils ont un angle aigu égal par hypothèse), on peut écrire :

$$\frac{\text{SP}}{\text{SO}} = \frac{x}{\text{R}},$$

formule qu'on peut transformer de la façon suivante :

$$\frac{\text{SP} + \text{SO}}{\text{SO}} = \frac{x + \text{R}}{\text{R}},$$

$$\frac{\text{SP}}{\text{SO} + \text{SP}} = \frac{x}{\text{R} + x},$$

d'où l'on tire, en remarquant que $\text{SO} + \text{SP} = \text{OP} = \sqrt{\text{R}^2 - x^2}$:

$$\text{SO} = \frac{\text{R}\sqrt{\text{R}^2 - x^2}}{\text{R} + x}, \qquad (1)$$

$$SP = \frac{x\sqrt{R^2 - x^2}}{R + x}. \qquad (2)$$

Les trois volumes considérés ci-dessus ont pour valeurs :

$$\text{Vol. M'MA A} = \frac{\pi.\overline{PO}}{3}(R^2 + x^2 + Rx),$$

$$\text{Vol. M'SM} = \frac{\pi.\overline{SP}}{3}x^2,$$

$$\text{Vol. A'SA} = \frac{\pi.\overline{SO}}{3}R^2,$$

Donc :

$$\text{Vol. SMA} = \frac{\pi}{3}\left[\overline{OP}(R^2 + x^2 + Rx) - \overline{SP}.x^2 - \overline{SO}.R^2\right],$$

ce qui s'écrit, en remplaçant OP, SP et SO par les valeurs trouvées :

$$\text{Vol.SMA} = \frac{\pi}{3}\left[\sqrt{R^2 - x^2}(R^2 + x^2 + Rx) - \right.$$
$$\left. - \frac{x^3\sqrt{R^2 - x^2}}{R + x} - \frac{R^3\sqrt{R^2 - x^2}}{R + x}\right];$$

et, en mettant $\sqrt{R^2 - x^2}$ en facteur, on a :

$$\text{Vol.SMA} = \frac{\pi\sqrt{R^2 - x^2}}{3}\left(R^2 + x^2 + Rx - \frac{x^3 + R^3}{R + x}\right).$$

On peut remarquer que le quotient de $x^3 + R^3$ par $x + R$ est $x^2 + R^2 - Rx$, ce qui conduit immédiatement au résultat $2\,Rx$ pour valeur de la parenthèse.

Le volume engendré par le triangle s'écrit donc finalement :

$$V = \frac{2\,\pi\,Rx}{3}\sqrt{R^2 - x^2}.$$

b) Le volume de la sphère de rayon R est $\frac{4}{3}\pi\,R^3$.

Pour que le volume du triangle soit le quart du volume de la sphère, on doit avoir :

$$\frac{2\,\pi\,Rx}{3}\sqrt{R^2 - x^2} = \frac{\pi R^3}{3},$$

ou :

$$2x\sqrt{R^2 - x^2} = R^2.$$

Élevant au carré les deux membres de cette équation, on obtient :

$$4\,x^2(R^2 - x^2) = R^4,$$

ou :

$$4\,x^4 - 4\,R^2x^2 + R^4 = 0.$$

Remarquons que cette expression est le développement du carré de $(2x^2 - R^2)$; on peut donc écrire :

$$(2x^2 - R^2)^2 = 0,$$

ce qui est vérifié pour :

$$x^2 = \frac{R^2}{2},$$

ou :

$$x = \frac{R}{\sqrt{2}} = \frac{R\sqrt{2}}{2}.$$

Nous laissons de côté la racine négative, qui n'a aucune signification dans le cas de la figure, puisque x est une longueur et qu'il n'a pu être fait aucune convention de signes.

c) x étant égal à $\frac{R\sqrt{2}}{2}$, on voit facilement, dans le triangle rectangle MPO, que :

$$OP = \sqrt{R^2 - \frac{R^2}{2}} = \frac{R\sqrt{2}}{2} = PM.$$

Le triangle OPM est rectangle isocèle, et le côté PM est la moitié du carré inscrit dans le cercle O (ce que nous aurions pu déduire de prime abord, puisque on sait que le côté du carré inscrit dans le cercle de rayon R est $R\sqrt{2}$). On voit alors que le point M se trouve au milieu de l'arc AB, autrement dit que l'angle au centre MOA a pour mesure le huitième de la circonférence, soit $\frac{\pi}{4}$ ou 45° ou 50 grades.

D'après les remarques que nous avons faites au début du problème, le point A′ est symétrique de A par rapport à O. L'angle inscrit MA′A a pour mesure $\frac{1}{2}$ arc MA, soit $\frac{\pi}{8}$. L'angle ASM, extérieur au triangle isocèle A′SA, a pour mesure le double de $\widehat{A'}$, soit $\frac{\pi}{4}$ ou 45° ou 50 grades.

Telle est la mesure de l'angle ASM demandée.

Nous voyons d'ailleurs que, puisque le triangle ASM est rectangle, on a aussi $\widehat{MAS} = \widehat{ASM} = 45°$.

Améliorations réalisées dans l'acheminement des télégrammes entre la France et les États-Unis. — Depuis environ une année, l'Administration française des Télégraphes a autorisé l'installation de bureaux ouverts au public dans les locaux occupés par les compagnies de câbles transatlantiques ou de télégraphie sans fil. Dans ces bureaux, dont quelques-uns sont ouverts de jour et de nuit, l'Administration a créé, indépendamment du guichet public tenu par ses agents, un service très complet de télégrammes téléphonés, desservi également par des dames téléphonistes de l'Administration. La clientèle des câbles ou de la T.S.F. peut ainsi transmettre ou recevoir ses télégrammes transatlantiques, soit par des lignes spéciales, soit par les lignes du réseau téléphonique général.

De leur côté, les compagnies ont institué des communications très rapides avec leurs points d'atterrissage, soit même en direct avec les États-Unis, comme cela a lieu pour la compagnie Radio-France et comme cela sera réalisé prochainement pour d'autres compagnies de câbles.

Grâce à ces mesures, on peut constater des délais de transmission extrêmement courts, et l'on a pu relever très souvent, dans des circonstances évidemment favorables, des échanges de télégrammes entre Paris et New-York dans un délai de cinq minutes aller et retour. Il est constant d'observer des délais de transmission de télégrammes urgents ne dépassant pas deux minutes.

De plus, l'Administration, d'accord avec les compagnies, a pris des mesures très heureuses au bureau de la Bourse pour activer l'échange des nombreux télégrammes financiers déposés à ses guichets pendant la durée du marché. L'installation d'appareils rapides et de tubes, placés à proximité des guichets réservés au dépôt de ce trafic urgent, reliés aux bureaux des câbles ou aux bureaux d'atterrissage, la simplification des méthodes de dépôt des télégrammes, ont permis de rivaliser très heureusement avec le service effectué dans les bureaux des compagnies, aussi bien à l'étranger qu'en France. Les télégrammes urgents déposés aux guichets du bureau de la Bourse sont transmis, dans la minute même de leur dépôt, aux bureaux des câbles, et acheminés sur New-York dans le même

délai que ceux qui sont déposés directement dans les bureaux spéciaux.

L'ensemble de ces mesures ne pouvait avoir qu'une influence heureuse sur l'accroissement du trafic échangé entre Paris et New-York et par suite sur la part importante de recettes revenant à l'État français.

Un autre résultat d'ordre moins économique, mais qui n'en a pas moins à nos yeux une grande valeur, a été de démontrer au public que l'Administration de l'État, s'associant pleinement aux vues des usagers et des compagnie, pouvait réussir tout aussi bien que l'industrie privée à satisfaire aux légitimes désirs d'une clientèle recherchant à la fois rapidité et sécurité.

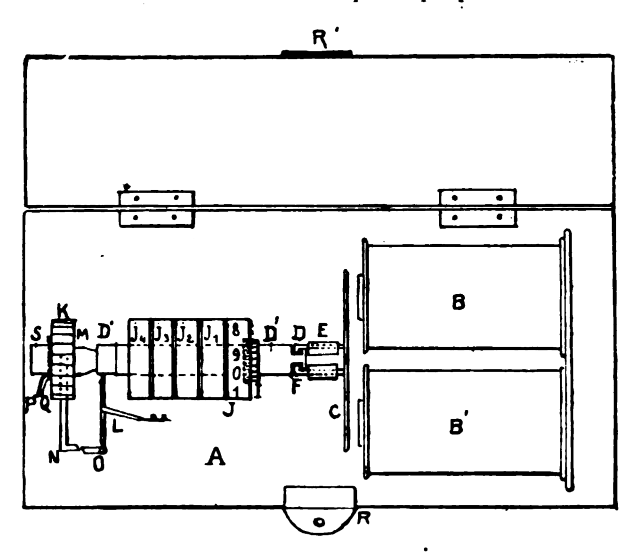
Nouveau compteur de communications téléphoniques. — M. Lybarit, Arménien établi en France, a récemment fait un projet original de compteur automatique de communications téléphoniques. Ce compteur offrirait la particularité de se placer au domicile de l'abonné, tandis que les compteurs actuels sont, comme on le sait, rassemblés dans les bureaux téléphoniques.

La description sommaire suivante a pour objet de donner une idée de la disposition des organes à adjoindre à un appareil mural d'abonné, disposition qui devrait naturellement subir quelques modifications de détail pour permettre l'adaptation à un appareil portatif.

Sur la planche A (voy. la figure ci-jointe) est disposé un arbre de rotation D′, autour duquel peuvent tourner librement une roue dentée K, commandée par le crochet commutateur de l'appareil téléphonique, et les roues J_1, J_2, J_3, J_4, correspondant aux chiffres des unités, dizaines, centaines, milliers. Ces dernières sont entraînées par une roue J, dentée intérieurement, enfilée à frottement doux sur l'arbre D′, mais engrenant avec une roue I, dentée extérieurement et solidaire de D′. La liaison de l'arbre D′ et de la roue K est assurée par un encliquetage à rochet Q ; celle de K et du crochet commutateur est réalisée par une tige A, solidaire du crochet commutateur et pénétrant dans les dents de la roue K.

Dans ces conditions, lorsque l'abonné décroche son récepteur, le

crochet commutateur entraîne la roue K seule, car la disposition de l'encliquetage ne lui permet de communiquer un mouvement à l'arbre D' que lorsque le crochetcommutateur s'abaisse, c'est-à-dire lorsque l'abonné raccroche son récepteur. Dans ce dernier cas, l'arbre D' tourne avec K et provoque, par l'intermédiaire de l'engrenage I J, le fonctionnement du compteur proprement dit.



Dans cette opération de comptage, rien ne distingue le côté du demandé du côté du demandeur. Pour éviter que le compteur n'enregistre les communications au poste du demandé, M. Lybarit utilise le courant d'appel envoyé à celui-ci avant la mise en communication. Ce courant traverse un électro-aimant B B' en dérivation aux bornes de la sonnerie et de même impédance que cette dernière. L'électro B B' excité attire son armature qui, par l'intermédiaire de la tige D coulissant dans la glissière E, déplace longitudinalement l'arbre D' et la dent I et sépare ainsi les dents des roues I et J. De plus, pour que cette séparation persiste après la cessation du courant d'appel, l'extrémité d'un ressort L s'engage dans une gorge M de l'arbre D' et empêche ce dernier de revenir en arrière sous l'action du ressort P. Quand l'abonné raccroche, son compteur n'est donc pas mis en action : D' et I tournent seules sans entraîner J, J_1, J_2, J_3, J_4. Le raccrochage est d'ailleurs utilisé pour le dégage-

ment de l'arbre D' : une tige N, fixée sur A, vient en effet faire basculer le ressort L et permet à D' de revenir à sa position de repos. Un réglage précis est nécessaire pour que la libération de D' ne se produise qu'au moment où les dents de I et de J ne sont plus susceptibles d'engrener par suite de leur déplacement respectif.

Si un appel formulé par le demandeur ne peut aboutir par suite de l'absence du demandé ou de l'occupation de sa ligne, ou si cet appel ne doit pas donner lieu à une taxe (appels des annotatricés, demandes de renseignements,...), la téléphoniste A est tenue de rappeler le demandeur pour débrayer son compteur.

Enfin, l'abonné ne pouvant évidemment utiliser la manœuvre de son crochet commutateur pour rappeler sa téléphoniste pendant le cours d'une communiçation, M. Lybarit adjoint au poste d'abonné un bouton dont la manipulation a pour effet de fermer et d'interrompre alternativement le circuit de conversation.

Un jugement intéressant (1). — Le mercredi 3 septembre, le tribunal du district de New York, présidé par le juge Knox, a débouté le major général George O. Squier, ancien chef du Signal Corps de l'armée américaine, du procès qu'il avait intenté à l'American telephone and telegraph company, attendu que les brevets pris par le général Squier avaient été librement et ouvertement mis par lui, dès l'origine, dans le domaine public et ne pouvaient en être retirés.

Les brevets visés se rapportent non seulement au système de téléphonie multiplex employé par l'American telephone and telegraph company, mais aussi au système de télégraphie à haute fréquence par courants porteurs, système perfectionné par le général Squier et exploité à Richmond, New York City, etc., par la North American company, en vertu d'une autorisation qu'il lui avait accordée.

1 Nous laissons à l'Electrical World, auquel nous l'empruntons, la responsabilité de cette information ; mais nous sommes heureux de profiter de l'occasion pour rendre hommage à l'œuvre technique si remarquable du major général George O. Squier pendant la guerre mondiale.



Le tribunal reconnut qu'en mars 1909 le Congrès avait accordé un crédit de 30.000 dollars pour effectuer des expériences sur des appareils de téléphonie sans fil et en avait chargé le général Squier. Deux ans après, environ, les travaux entrepris ayant donné des résultats satisfaisants, le général Squier et son chef le général Allen acceptèrent que l'invention fût brevetée, pour la protection du gouvernement fédéral. Les brevets portent l'inscription « Dédiés au public ».

Le tribunal dit aussi : le plaignant, dans des interviews avec les reporters des journaux, dans des discours prononcés à des banquets réunions, associations techniques, a affirmé que la découverte était à la libre disposition de tous ceux qui pouvaient désirer l'utiliser.

La cour jugea inutile de se prononcer sur la deuxième contestation, car, même si les brevets du général Squier n'étaient pas tombés dans le domaine public, ils sont postérieurs aux brevets de la Ruhmer Belgian ayant le même objet et exploités par la North American Company.

Distinction honorifique. — Nous apprenons que M. Naud vient d'être nommé inspecteur général honoraire; il quitte l'Administration après une longue carrière. Nous sommes heureux de faire savoir à nos lecteurs qu'il continuera, comme par le passé, à diriger les cours par correspondance qui rendent tant de service aux employés; parmi ceux qui les ont suivis jadis, on compte quelques-uns des hauts fonctionnaires d'aujourd'hui. Nous adressons nos félicitations à M. Naud pour la promotion honorifique dont il a été l'objet.

BIBLIOGRAPHIE.

La T.S.F. en 30 leçons. — Cours complet professé à l'École des Arts et Métiers, grâce aux soins de la Société des amis de la T.S.F., par MM. Chaumat, Lefrand, Metz, Mesny, Jouaust et Clavier. Paris, E. Chiron, 1924, 5 vol. in-8° carré. — Tome 1er : *Electrotechnique générale préparatoire à la T.S.F.*, par H. Chaumat, professeur au conservatoire national des arts et métiers, et E. Lefrand, préparateur au conservatoire. Prix : 7 fr. 50. — Tome II : *Principes généraux de la radiotélégraphie et applications principales*, par le commandant Metz. Prix : 7 fr. 50.

Le Conservatoire national des arts et métiers a demandé aux personnes les plus qualifiées d'établir, chacune dans leur spécialité, une suite de leçons qui, partant des données élémentaires indispensables et suffisantes sur l'électricité, exposent méthodiquement et successivement toutes les données de la T.S.F. et tous les problèmes qui en découlent.

Présentés sous une forme qui est accessible à tous, ces cours ont été réunis en cinq fascicules, dont les deux premiers viennent de paraître.

Histoire des sciences exactes et naturelles dans l'antiquité gréco-romaine. — Exposé sommaire des écoles et des principes, par Arnold Reymond, professeur de philosophie à l'université de Neuchâtel. Préface de L. Brunschvicg, membre de l'institut. Paris, librairie scientifique Albert Blanchard, 1924. — 1 vol. in-8° de VIII + 238 pages. Prix : 12 francs.

L'heureuse organisation des études supérieures à l'université de

Neuchâtel a permis à M. Arnold Reymond d'y professer, durant de longues années, l'histoire des sciences aussi bien aux élèves de la faculté des lettres qu'à ceux de la faculté des sciences. La partie de ce cours relative à l'antiquité fait l'objet de la présente publication. En un récit étayé de références nombreuses, l'auteur restaure sous nos yeux, dans sa profondeur et son intégrité, cette première civilisation méditerranéenne, dont une tradition purement littéraire a mutilé et faussé la perspective. A tous les savants, ce livre donnera l'indispensable idée d'*évolution* des sciences, sans laquelle l'étude de celles-ci est incomplète et vicieuse.

Problèmes d'électrotechnique avec solutions développées et applications numériques, par Adr. Curchod, ingénieur-électricien (E. S. E.), directeur du « *Bulletin de l'Élève-Ingénieur* ». Préface d'A. Mauduit, professeur d'électrotechnique à la faculté des sciences de l'université de Nancy. Paris, librairie scientifique Albert Blanchard. 1 vol. in-8° du XIV + 594 pages avec 181 figures et 6 planches. Prix : 48 francs.

Cet ouvrage est destiné à illustrer, en quelque sorte, les cours et les leçons d'électrotechnique des principaux établissements destinés à la formation des ingénieurs électriciens.

Les 600 pages qui le constituent renferment 96 problèmes, à chacun desquels correspondent plusieurs questions, ce qui conduit à un total d'environ 400 questions dont les solutions sont complètement traitées, et accompagnées chacune d'une application numérique.

Les sujets sont choisis dans les diverses branches de l'électrotechnique : lois et formules fondamentales (courant continu et courant alternatif), machines à courant continu, transformateurs statiques, machines synchrones, machines asynchrones.

Le développement de chaque question comprend un exposé sommaire des principes de la méthode qui sera adoptée et l'application de cette méthode à un exemple numérique, de telle sorte que tous les problèmes sont indépendants les uns des autres et qu'il suffit au lecteur de connaître le chapitre du *Cours d'Électrotechnique* auquel se rapporte la question traitée.

Ainsi conçu, cet ouvrage est appelé à rendre de précieux services aux futurs ingénieurs électriciens, en les initiant aux applications des méthodes de l'électrotechnique : constructions graphiques, développements analytiques avec les exemples numériques, rien n'est négligé pour atteindre le but proposé.

Il sera également fort utile aux ingénieurs et techniciens accomplis, en leur rappelant la solution de tel ou tel problème particulier qui les occupe spécialement.

Le moteur électrique asynchrone à champ tournant, par G.-E. Guillemin. Paris, Librairie centrale des sciences, 27, quai des Grands-Augustins. 1924. 1 vol. in-4° broché de 120 pages, avec 180 figures. Prix : 15 francs.

La connaissance parfaite du *moteur asynchrone*, à courant alternatif triphasé à champ tournant, manque encore à beaucoup de ceux qui sont appelés à s'en servir.

M. Guillemin est un spécialiste de ces moteurs; le but de son livre est surtout de *faire comprendre*; des explications, des comparaisons inédites, des illustrations spéciales, contribuent à la compréhension du texte.

Annuaire de la T. S. F. — 2e Année (1925). — Un fort volume de plus de 1.000 pages. Relié : Prix 30 francs (en souscription : 25 francs). — Étienne Chiron, éditeur, 40, rue de Seine, Paris VIe.

L'*Annuaire de la T. S. F.*, qui constitue le répertoire le plus important réalisé jusqu'à ce jour dans le monde entier, prépare actuellement sa 2e édition (1925), qui comportera plus de mille pages.

La partie commerciale, qui, dans la première édition, n'avait pu recevoir tout le développement désirable, y occupera une place prépondérante par la réunion de toutes les adresses des firmes, tant de France que de l'étranger, se rattachant à la T. S. F.

Tous les industriels et commerçants ainsi que les agents de la T.S.F., auront donc le plus grand intérêt à figurer avec leurs spé-

cialités, dans ce document, où les insertions nominatives sont gratuites. Pour ce faire, ils devront adresser sans retard les indications utiles à l'adresse suivante : *Administration de l'Annuaire de la T.S.F.*, 40, rue de Seine, Paris (VIe).

Le Gérant,

Léon EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

14e ANNÉE. — N° 2. FÉVRIER 1925. PRIX : 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE.
3 RUE THÉNARD, PARIS, Ve.

Prix de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger......... 44 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

AVIS

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une Commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette Commission se réunit à l'École Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VII[e].

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.



LES TRANSPORTS POSTAUX PAR CHEMINS DE FER,

Par V. PIGNOCHET,
Sous-chef de bureau des Postes et Télégraphes.

Dans l'exposé sommaire qui va suivre, la question, très vaste, des transports postaux sur les chemins de fer sera examinée d'un point de vue très particulier : celui du matériel roulant utilisé pour le transport de la correspondance sur les voies ferrées d'intérêt général. Toutefois, le matériel étant constitué en vue de convenir au travail des objets suivant des méthodes déterminées, il sera parfois nécessaire d'effleurer les questions d'exploitation.

I. Les conventions.

Les transports postaux sur les chemins de fer d'intérêt général sont réglés par l'article 56 du cahier des charges applicable aux grands réseaux, et par l'arrangement temporaire du 12 juin 1918, sanctionné par la loi du 27 septembre de la même année.

L'article 56 du cahier des charges met gratuitement à la disposition de la poste, chaque jour, sur chaque ligne et dans les deux sens, un train régulier, dont la marche et les stationnements sont réglés par le ministère des Travaux Publics, la compagnie entendue.

En outre, à chacun des trains ordinaires de l'exploitation voyageurs ou marchandises), les compagnies sont tenues de réserver gratuitement deux compartiments spéciaux d'une voiture de 2e classe, ou un espace équivalent, pour le transport des lettres, des dépêches, et des agents chargés de les escorter. Si le volume des dépêches rend insuffisante la capacité de deux compartiments, de sorte qu'il y ait lieu de substituer un wagon-poste au wagon à voyageurs, le transport de ce wagon-poste est effectué gratuitement jusqu'à concurrence de 10 tonnes.

Enfin l'article 56 met à la charge des réseaux les frais d'entretien des châssis de tous les véhicules postaux.

L'arrangement temporaire du 12 juin 1918 donne au service postal la faculté d'aménager, dans des voitures à voyageurs ou des fourgons convenablement suspendus, des compartiments postaux séparés, d'une surface de 16 mètres carrés au maximum.

En l'état actuel (1) des conventions avec les grands réseaux, la poste a donc le droit d'utiliser, pour son service, outre le train-poste journalier qui lui appartient en entier, tous les trains de marchandises et de voyageurs circulant aux heures ordinaires de l'exploitation. En fait, elle utilise presque tous les trains de voyageurs, soit en y installant un service de courrier convoyeur dans deux compartiments de voyageurs ou dans un espace de 16 mètres carrés aménagé, soit en y incorporant un wagon-poste ou une allège.

II. Les compartiments de voyageurs.

Les voitures à voyageurs, à compartiments séparés, ont donné pendant longtemps et donnent encore, partout où elles subsistent, toute satisfaction au service postal pour l'acheminement des dépêches closes.

Si le courrier convoyeur utilise deux compartiments, il sépare les dépêches en deux lots, correspondant, l'un à la première partie du parcours, l'autre à la seconde partie. Les châssis vitrés du compartiment non occupé sont bloqués par des coins en bois ; les portières sont condamnées, au moyen de chaînes arrêtées par des cadenas de sûreté.

La mise en service des voitures à couloir a fait apparaître les premières difficultés, le courrier convoyeur ne pouvant plus, comme par le passé, s'isoler complètement des autres voyageurs.

---

(1) L'article 56 et l'arrangement de 1918 sont en instance de révision. La loi du 29 octobre 1921 sur le nouveau régime des chemins de fer stipule, en son article 13, qu'une convention spéciale réglant les transports postaux devra intervenir dans les six mois. Pour des causes diverses, cette convention n'est pas encore conclue.

On a pu, dans certains cas, remédier à cet inconvénient en déplaçant des cloisons de manière à isoler deux compartiments à l'une des extrémités de la voiture ; la porte d'accès au couloir est commandée par une targette se manœuvrant de l'intérieur des compartiments postaux. C'est le cas des voitures du type C8S du réseau P.-O.

Mais cette solution n'a pas toujours pu être adoptée, et, du reste, d'autres difficultés plus graves sont survenues du fait de l'adjonction de soufflets d'intercirculation sur les voitures de grande longueur à voyageurs.

Dans ce dernier type de voiture, tous les compartiments donnent sur le couloir ; l'entrée et la sortie du véhicule se font uniquement par quatre portières s'ouvrant sur les plateformes terminales ; mais deux de ces ouvertures seulement sont utilisables pour le service, puisque les deux autres donnent à contre-voie.

Or, pour assurer les échanges aux diverses stations du parcours, les courriers convoyeurs sont obligés, avant l'arrêt du train, de déposer les dépêches à livrer sur la plateforme la plus voisine de leur compartiment ; puis ils utilisent, pour la livraison et la réception des dépêches, l'unique portière qui dessert cette plateforme. Pendant ces opérations, qui absorbent généralement la totalité de la durée de l'arrêt du train, les voyageurs ne peuvent se servir de la portière utilisée par la poste ; le couloir d'intercirculation se trouve encombré ; l'accès du lavabo ou du wagon-restaurant est provisoirement interdit, et, naturellement, il se produit, entre le courrier convoyeur et le public, des altercations toujours désagréables. Une affaire de ce genre a même eu son dénouement devant les tribunaux.

Cette situation est d'autant plus regrettable que la sécurité des dépêches (contenant des valeurs de plus en plus importantes) est mal assurée. La manipulation des sacs dans le couloir et sur la plateforme, où les voyageurs ont le droit de passer et de séjourner, donne aux voleurs une occasion relativement facile d'exercer leurs exploits. Par surcroît, faute de disposer d'un système de fermeture applicable aux portes à glissières (les chaînes

ne s'y adaptant pas), le compartiment plein de dépêches, non occupé par le courrier, est simplement fermé à la clé carrée, dont il est trop facile de se procurer un exemplaire.

En définitive, la situation des courriers convoyeurs et des dépêches qu'ils escortent est très défavorable dans les voitures à couloir et à intercirculation. Comment remédier à cela ?

Considérant que l'intercommunication entre les voitures doit être maintenue, la meilleure solution (peut-être la seule) paraît consister à rejeter le compartiment postal vers l'une des extrémités du convoi ; au besoin même dans les fourgons, en aménageant un espace clos convenant, à la fois, aux nécessités du trafic postal et au confort des occupants. C'est l'objet des *compartiments aménagés.*

III. Les compartiments aménagés.

En vertu de l'arrangement de 1918, des compartiments postaux, d'une surface de 16 mètres carrés au maximum, peuvent être aménagés dans des voitures à voyageurs si les compagnies y consentent, ou dans des fourgons convenablement suspendus.

Les compagnies n'ont pas montré un égal empressement pour installer de tels compartiments. Toutefois, certaines d'entre elles (le Midi, en particulier), constatant les difficultés qui surviennent inévitablement, dans les voitures à couloir, entre voyageurs et agents des postes, et n'apercevant pas d'autre moyen de mettre un terme à cette situation, ont accordé à l'administration tous les aménagements qu'elle a demandés. Tôt ou tard, par la force des choses ou dans leur propre intérêt, les autres réseaux seront amenés à suivre cet exemple.

Il existe deux types d'aménagement, convenant : l'un aux courriers convoyeurs, l'autre aux services ambulants de faible importance dits ambulants secondaires.

L'*aménagement pour courrier convoyeur* comporte :

un casier de 25 cases,
un siège, du genre strapontin, avec dossier rembourré,
quatre lampes électriques,

deux radiateurs à vapeur,
deux boîtes aux lettres.

L'*aménagement pour bureau ambulant secondaire* comprend, outre les casiers et soubassements nécessaires pour effectuer le tri détaillé des correspondances (150 cases environ) :

huit lampes électriques,
deux sièges à glissières,
un fauteuil,
deux ou trois radiateurs avec chauffe-pieds,
deux boîtes aux lettres.

Chaque fois que la chose est possible, on établit la communication du compartiment postal avec le lavabo existant dans la voiture, en prenant, bien entendu, les précautions nécessaires quant à la fermeture de la porte de communication.

Enfin, lorsque le compartiment est aménagé dans un fourgon, les réseaux acceptent quelquefois l'adjonction d'un lanterneau et la substitution, aux portes à glissières, de portes à vantaux, plus hermétiques.

Si le trafic postal est tel que les compartiments de voyageurs et les compartiments aménagés deviennent insuffisants, on utilise des véhicules spéciaux appartenant à l'administration : des *wagons-poste* si un tri des correspondances doit s'effectuer en cours de route, des *allèges* s'il ne s'agit que de transporter des dépêches closes.

IV. Les wagons-poste.

Le parc actuel de l'administration comprend :

Pour l'ancien territoire ;

191	wagons de	18m	montés sur bogies,
175	»	14m	sur essieux parallèles,
3	»	10m	»
148	»	7m	»

Pour l'Alsace-Lorraine :

11	wagons de	18m	environ, montés sur bogies,
23	»	14m	»

48 wagons de 10^m environ, sur essieux parallèles,
6 » 7^m »

Tous ces véhicules sont en bois.

Il y a en construction :

25 wagons de 18^m en bois, montés sur bogies,
12 wagons métalliques de 20^m (châssis unifié).

L'orientation vers la construction métallique résulte d'instructions adressées aux réseaux de chemins de fer par le ministère des Travaux Publics, dans l'intérêt de la sécurité des convois. Les voitures métalliques offrent, en effet, au point de vue de la solidité, des garanties bien supérieures aux véhicules en bois ; elles ont, en outre, l'avantage d'être incombustibles.

L'administration n'a pas élevé d'objection d'ordre majeur au sujet de ces directives. Les wagons-poste en métal sont d'usage courant aux États-Unis ; on ne voit pas pourquoi on ne parviendrait pas à mettre au point, en France, une voiture de ce type. L'Administration a fait observer, cependant, à l'Office central d'étude de matériel des chemins de fer (qui a le monopole des études de l'espèce) que des précautions particulières devraient être prises pour éviter les vibrations, le bruit, et les influences de la température extérieure. Nous pensons qu'on doit faire confiance aux industriels français pour la réalisation de ces conditions très importantes.

Accessoirement, le ministère des Travaux Publics a agité, à cette occasion, la question de savoir si l'on doit faire des bureaux ambulants mixtes, servant à la fois de dépôt de sacs et d'atelier de tri. L'administration préfère avoir, d'une part, des bureaux ambulants, et d'autre part, des allèges.

Il faut évidemment prévoir un entrepôt pour les sacs à travailler et un exutoire pour les sacs travaillés : d'où l'agencement spécial des plateformes.

Les plateformes sont beaucoup trop exiguës sur les wagons-poste de 14 mètres ; elles deviennent également insuffisantes sur les voitures de 18 mètres depuis l'existence du trafic des paquets-lettres. On est généralement d'accord aujourd'hui sur la nécessité d'augmenter les dimensions des plateformes, mais pas

au point de transformer le wagon-poste en voiture mixte. L'intercirculation permettant toutes les allées et venues entre le wagon-poste proprement dit et l'allège, la question posée par le département des Travaux Publics présente peu d'intérêt.

La plus grande difficulté, lorsque l'on construit un wagon-poste, est de satisfaire, en même temps, dans un espace très limité, ces deux besoins parfois contradictoires : le travail rapide des correspondances et le confort du personnel.

Casiers. — Si l'on compare l'ameublement intérieur d'un wagon-poste ayant 60 ans d'existence avec celui d'une voiture de construction récente, on est frappé du peu de modifications apportées au mobilier dans cet intervalle ; l'instrument de travail a été établi, de premier jet, dans une forme pour ainsi dire définitive.

Le mobilier en tôle qui vient d'être expérimenté avec succès, est à peu près identique, quant à la forme, à l'ancien mobilier ; mais il lui est supérieur en ce qu'il facilite les travaux de propreté ; l'ajourage des tôles et l'évidage des coins des cases permettent, en effet, de faire tomber facilement la poussière sur le parquet de la voiture où le nettoyage humide est aisé à appliquer.

Une difficulté qui s'est présentée, de tout temps, dans l'agencement intérieur, c'est d'accrocher les sacs en causant le moins de gène et d'encombrement.

On a reçu bien des propositions.

Une solution, longtemps pratiquée, consiste à visser un crochet sur les parois verticale des casiers et à y accrocher un bout de ficelle dont l'autre extrémité est attachée à l'anneau du sac. Mais, comme tous les objets en saillie, ce crochet peut être dangereux s'il se produit des chocs ou des freinages brusques. La ficelle tendue du crochet au soubassement présente, en outre, l'inconvénient de rendre inutilisable la table de tri sur une certaine longueur.

Le crochet Bousrez, en aluminium, qui s'adapte à la table de tri, en coiffant le bourrelet, remédie bien à ces deux inconvénients.

On pourrait enfin loger l'anneau du sac dans une fente oblique (1). Le dispositif aurait l'avantage de la simplicité : il reste à voir s'il ne détériorerait pas la table de tri elle-même, exposée à un trop gros effort de résistance sur une partie affaiblie par les mortaises.

Boîte aux lettres. — Une boîte aux lettres doit exister sur chaque face du wagon-poste, et déboucher, à l'intérieur, à un endroit facile à atteindre. A l'extérieur, son ouverture ne doit pas être trop haute, surtout en considération des endroits où les quais des gares sont coupés, pour les manœuvres latérales par chariots transbordeurs.

Dans les voitures de petit modèle, les boîtes aux lettres étaient agencées, assez commodément, au bas des portières. Avec les voitures à plateformes, il a fallu chercher un autre emplacement. Après des essais nombreux, on a finalement disposé les boîtes juste au milieu du wagon, au droit des fausses portières. C'est un endroit mal choisi. Des infiltrations se produisent par la rainure du châssis mobile ; l'eau s'accumule au fond de la boîte et détériore les correspondances. D'autre part, les agents ambulants ont l'habitude, bien naturelle, de mettre des sacs dans la fausse portière ; la boîte se trouve ainsi masquée, et la levée n'a lieu, parfois, qu'en fin de parcours,

S'inspirant d'un modèle américain, M. Lecoq, rédacteur principal au service de la vérification du matériel, a eu l'idée de remplacer la boîte par un tiroir situé au dessous de la table de tri, à mi-hauteur du soubassement. Ce tiroir est sollicité, par un ressort, à revenir toujours contre la paroi du véhicule. Quand il est dans cette position de repos, il se trouve juste au dessous du conduit incliné qui descend de l'ouverture extérieure de la boîte. Il convient de ne faire la levée qu'au moment du départ du train, de peur qu'on ne glisse une lettre dans le conduit juste au moment où l'on tire le tiroir pour le vider. C'est ce qu'ont très bien compris les courriers ambulants : et l'on espère que, cette fois, le bon emplacement de la boîte est enfin trouvé.

---

(1) Proposition de M. Denis, chef de brigade sur la ligne de l'Ouest.

Sécurité. — Les attaques à main armée contre les voyageurs se renouvellent assez fréquemment. Les courriers convoyeurs y sont exposés comme les autres voyageurs. En ce qui concerne les véhicules exclusivement postaux, les malfaiteurs ne se sont attaqués, jusqu'ici, qu'aux allèges et aux fourgons non accompagnés.

Pour se prémunir contre une attaque dirigée contre un wagon-poste, où le personnel serait surpris en plein travail, les boutons d'alarme, qui étaient autrefois sur les plateformes, ont été reportés à l'intérieur, à proximité des fausses-portières, sous la main du chef de brigade, qui pourra toujours les actionner en cas d'alerte.

Éclairage. — L'éclairage à l'huile et l'éclairage au gaz ne sont mentionnés que pour mémoire ; le premier tend à tomber en désuétude, bien qu'il soit encore en usage sur certaines voitures de petit modèle ; le second est interdit par le ministère des Travaux Publics à cause des risques d'incendie qu'il présente en cas de déraillement.

L'éclairage électrique devenant la règle, on s'est trouvé en présence de deux systèmes : l'accumulateur, et l'équipement autogène avec batterie de secours. L'éclairage par accumulateurs, qui existe encore sur le réseau du Nord, est partout remplacé par le système autogène, pour des raisons bien connues de commodité et de prix de revient.

Le principe de l'administration est de prendre, pour les wagons-poste, les types d'équipements autogènes en usage, sur chaque réseau, pour les voitures à voyageurs. On peut se demander pourquoi elle n'a pas eu recours, comme la compagnie des wagons-lits, à un type d'équipement unique, entretenu par un seul entrepreneur. La raison est que le service postal ambulant exige, avant tout, un éclairage régulier, sans défaillance, ce qui implique que les pannes soient réparées dans le moindre délai, qu'elles se produisent en route ou en stationnement.

Il a été reconnu que la solution offrant les meilleures garanties pour l'entretien et la surveillance des équipements des voitures

postales consistait à profiter des organisations que les compagnies de chemins de fer ont créées ou créeront, sur toute l'étendue de leurs réseaux respectifs, pour l'éclairage électrique de leurs propres voitures.

Au point de vue de la sûreté de fonctionnement des appareils d'éclairage, il n'a pas paru avantageux de recourir à un seul entrepreneur, utilisant un système unique d'équipement électrique appliqué à tous les wagons-poste. La méthode pratiquée par la compagnie des wagons-lits est commode lorsqu'elle s'applique à des véhicules circulant uniquement sur les lignes principales. Mais la situation des voitures postales est tout autre : elles doivent circuler sur les petites lignes transversales, où leur entretien doit cependant être assuré. Un industriel chargé de l'éclairage électrique des wagons-poste sur tout le territoire serait donc conduit à entretenir, dans un très grand nombre de localités, des équipes d'ouvriers électriciens insuffisamment occupées, ce qui ne manquerait pas de peser lourdement sur le prix de sa soumission. Il a paru préférable de faire appel aux électriciens des compagnies de chemins de fer, qui se trouvent toujours sur les lieux pour effectuer, séance tenante, les réparations qui se reproduisent le plus fréquemment (pertes de courroies, fusibles brûlés), etc...

C'est pour ces raisons que l'administration a adopté, pour l'éclairage des wagons-poste, les divers types d'équipement suivants (1) :

sur le	Nord,	le système	Brown-Boveri,
»	Est,	»	Dick,
»	P.-L.-M.,	»	Dick,
»	Midi,	»	Wickers,
»	P. O.,	»	Brown-Boveri
»	État,	les systèmes	Rosemberg, État E. V. R..

La question de l'unification des équipements s'est posée de

(1) Ces types d'équipement autogènes ont été décrits en détail par M. Hanff, ingénieur des Postes et Télégraphes : *Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*, 1923, nos 9 et 10.

nouveau lorsqu'il s'est agit de choisir un équipement pour les voitures métalliques unifiées, appelées à circuler indistinctement sur tous les réseaux. On a longtemps hésité entre les systèmes Brown-Boveri et Dick, qui paraissent avoir également la faveur des compagnies de chemins de fer ; finalement, l'extrême délicatesse du régulateur Brown-Boveri a fait préférer l'équipement Dick.

Chauffage. — Les wagons-poste de petit modèle sont pourvus de poêles à coke ; la plupart des voitures de grande longueur sont chauffées au moyen de thermo-siphons. Mais ces deux systèmes de chauffage sont appelés à disparaître, car, pour réduire les risques d'incendie dans les convois, le ministère des Travaux Publics a prescrit partout l'installation d'appareils de chauffage par la vapeur.

Il en existe plusieurs systèmes, qui ont chacun leurs mérites et leurs inconvénients. Cependant, ils ont tous un inconvénient commun, qui est l'imperfection du réglage : les véhicules placés en tête du train sont surchauffés, ceux qui sont en queue ont un chauffage insuffisant. On expérimente, il est vrai, en ce moment, un montage Westinghouse, avec tubes thermo-statiques qui, au dire des industriels qui les présentent, doivent assurer un réglage automatique parfait. L'avenir nous le dira.

Cette question supposée résolue, il reste à assurer le chauffage au stationnement. Jusqu'ici on avait monté, dans les wagons, deux poêles à coke à fort tirage, que le personnel allumait lorsque la voiture stationnait sur les voies de garage, loin des bouches de vapeur. Mais, les poêles devant disparaître, il a fallu trouver autre chose.

M. Irle, commis sur la ligne des Pyrénées, est l'inventeur d'un système qui permet d'assurer le chauffage du wagon-poste dans les conditions suivantes (1) :

en *stationnement* : un foyer à coke chauffe un volant d'eau à une température de 60 à 80° ; la circulation de l'eau dans les

(1) L'appareil Irle a été décrit en détail, par l'inventeur lui-même, dans les *Annales des P. T. T.*, 1923, n° 4.

plinthes chauffantes et les poêles à eau maintient dans le wagon une température de 15 à 20° ;

en route : 1° traction à vapeur : l'arrivée de la vapeur éteint le poêle à coke et maintient le volant d'eau à la température voulue ; réglage à volonté ;

2° traction électrique : l'appareil est agencé pour que l'électricité produise exactement les mêmes effets que la vapeur ;

arrêts prolongés ou défaut de vapeur : le volant d'eau maintient, pendant 2 heures au moins, la température à 15°, avec zéro degré à l'extérieur.

Tout, dans cet appareil, est agencé en vue du but à atteindre : répartition judicieuse des surfaces de chauffe pour accélérer la vitesse de circulation de l'eau chaude ; calfeutrements et calorifuges, convenablement étudiés, s'opposant aux déperditions de chaleur, etc...

L'appareil Irle a été essayé sur une voiture d'une façon prolongée et y a donné de bons résultats. Vingt nouvelles installations viennent d'être mises en service ; elles donnent également satisfaction au personnel ; mais, avant de généraliser l'emploi de cet appareil, l'administration désire se renseigner, par l'expérience, sur sa résistance à l'usure ainsi que sur les difficultés qui peuvent se présenter pour son entretien.

M. Irle s'est mis en rapport avec l'Office central d'études de matériel de chemins de fer, et il est possible que ses idées trouvent un champ d'application dans les cinq cents voitures unifiées destinées à former des trains sanitaires, lesquels, comme nos wagons-poste, sont exposés à rester plus ou moins longtemps sur des voies de garage.

Aération. — L'aération des wagons-poste est un problème qui n'a pas encore été résolu d'une manière satisfaisante. Il faudrait arriver à renouveler l'air sans produire ce que les ambulants appellent la chute d'air sur les épaules. Si l'un des vasistas est ouvert dans le lanterneau, on sent immédiatement un air froid qui tombe ; si l'on baisse les châssis des fausses portières, il se produit un courant d'air. Il faut donc éviter l'ouverture directe de baies.

On a essayé deux types d'appareils : les *souffleurs* et les *aspirateurs*. Les premiers, comme leur nom l'indique, soufflent dans la voiture de l'air frais extérieur ; les seconds, au contraire, aspirent l'air vicié qui s'accumule dans les parties supérieures de la voiture. Aucun de ces deux appareils ne résout, à lui seul, le problème de l'aération ; l'administration, comme es réseaux, pense que de bons résultats seront obtenus par une combinaison judicieuse des deux systèmes. Aussi les voitures métalliques unifiées comporteront-elles des aspirateurs (du type torpille ou du type Irle) dans le lanterneau et un souffleur Chanard sur le compartiment de toilette.

Nettoyage. — Le nettoyage extérieur des wagons-poste se fait par lavage à grande eau ; il ne présente aucune complication particulière. Il n'en est pas de même du nettoyage intérieur : la difficulté est de faire disparaître complètement la poussière des casiers et des tapis-brosses.

En ce moment, le nettoyage se fait à la main. On a vu que les casiers en fer se prêtaient mieux à un nettoyage rapide et efficace. Toutefois, en dépit de la surveillance que l'on peut exercer, il est difficile d'obtenir du personnel qu'il essuie les casiers, les soubassements, et surtout le parquet, avec un linge humide. Dès lors, il n'existe qu'un seul moyen vraiment efficace d'évacuer totalement la poussière : c'est de faire le *nettoyage par le vide*.

Les premiers essais, effectués avant et pendant la guerre, n'ont pas été satisfaisants, probablement parce que les ajutages d'aspiration n'avaient pas la forme voulue ; mais il est pourtant certain que ce sera la solution de l'avenir, pourvu que les suceurs soient soigneusement étudiés. N'est-on pas actuellement dans une situation fausse, alors que l'on est obligé de fournir au personnel des tapis-brosses d'une certaine épaisseur pour atténuer les trépidations auxquelles il est exposé en restant debout, dix heures durant, quand on voit que, d'autre part, les gares s'opposent au battage des tapis dans leurs emprises, pour éviter le dégagement de poussières jugées dangereuses ? Un gros progrès reste donc à faire.

V. Les allèges.

Le parc actuel de l'administration comprend:

5	allèges de	16^{m}	à bogies,
38	»	14^{m}	à essieux parallèles,
4	»	11^{m}	»
16	»	7^{m}	»

Tous ces véhicules sont en bois.

Il y a actuellement en construction :

10 allèges de 16^{m} en bois, sur bogies,

66 allèges métalliques de 17^{m}, montées sur bogie unifié.

La plupart de ces véhicules offrent l'aspect d'une caisse absolument nue, où l'on empile les dépêches par tas, suivant les destinations.

Mais, les allèges paraissant être appelées à jouer un grand rôle dans l'exploitation future, l'administration a été amenée à prévoir, dans les constructions en cours, certaines améliorations indispensables. Toutes les allèges métalliques en chantier comporteront :

l'éclairage diurne par lanterneau,
l'éclairage électrique,
le chauffage à la vapeur (à la demande),
l'intercirculation.

Elles sont en effet construites pour une double fin : le transport des sacs et l'acheminement éventuel des objets encombrants (paquets-lettres et échantillons).

Transport des sacs. Transit international. — Les allèges sont utilisées de deux façons pour le transport des sacs: comme annexe d'un bureau ambulant et comme fourgon isolé.

Dans le premier cas, il y a lieu de prévoir des soufflets d'intercommunication, un éclairage intérieur pour faciliter le tri et l'arrimage des sacs, et enfin un chauffage modéré pour que les courriers ambulants ne risquent pas de tomber malades en passant brusquement de l'atmosphère chaude du wagon-poste dans une enceinte froide.

L'utilisation de l'allège comme fourgon de transport offre pour l'administration beaucoup d'intérêt, parce qu'elle lui permet d'assurer des transits internationaux importants.

Pour le moment, la malle de l'Inde est le seul transit international nécessitant un matériel spécial (36 allèges de 14 mètres). Avant 1914, il existait, entre Cherbourg et l'Allemagne, un transit de dépêches important vers les pays de l'Europe centrale, orientale et septentrionale. Ce transit a repris, mais faiblement. Il redeviendrait, sans aucun doute, ce qu'il était avant la guerre, si l'on parvenait à acheminer les sacs, sans rompre charge, entre Cherbourg et Herbesthal et même Cologne. Les constructions en cours semblent devoir permettre d'amorcer ce transit, sinon de l'organiser dans toute son ampleur.

Acheminement des objets encombrants. — Depuis la guerre, le trafic des paquets-lettres a pris un gros développement. Leur acheminement donne lieu à deux théories. Les uns voient là un service de messagerie, qui peut s'accommoder d'une marche ralentie. Les autres font observer que, le tatif étant celui des lettres, l'expéditeur a droit à une marche aussi rapide pour le paquet qu'il dépose que pour une lettre missive ; ils font ressortir que le commerçant a le plus souvent intérêt à ce que l'échantillon aille aussi vite que la lettre qui l'annonce. Cette accélération est encore plus justifiée quand la lettre qui contient l'offre n'accorde, pour l'option du prix, qu'un délai assez restreint. C'est ainsi qu'un négociant du Havre peut avoir expédié à Nancy un échantillon de café, avec délai d'option de six jours. Si le paquet n'arrive que quelques jours après la lettre, le client n'a pas le temps, sur lequel l'expéditeur pouvait compter, pour apprécier la qualité de l'offre et faire parvenir sa commande. Le paquet de messagerie postale devrait donc, autant que possible, arriver à destination aussi vite que la lettre. Il y a des cas où cette obligation est encore plus impérieuse : par exemple, s'il s'agit de médicaments pour la province demandés d'urgence à Paris. Enfin les chambres de commerce insistent évidemment en ce sens, et le personnel lui-même estime que des retards qui se prolonge-

raient jusqu'à trois ou quatre jours seraient incompatibles avec le prix que l'Administration fait payer.

Ces considérations, qui intéressent plus spécialement l'exploitation, ont été exposées pour dégager le problème qui se pose pour le matériel roulant.

Observons d'abord que les wagons-poste, agencés pour le tri des lettres, ne conviennent pas du tout au travail des objets encombrants. A titre d'essai, l'administration a fait aménager trois voitures de 14 mètres pour le tri des paquets-lettres et des échantillons. Après trois mois de fonctionnement, l'*ambulant-messagerie* a fait apparaître la nécessité de changer les méthodes d'exploitation et de réduire à deux les catégories d'objets, savoir : 1° les recommandés (paquets-lettres et échantillons, grevés ou non de remboursement), et 2° les mêmes variétés d'objets, mais non recommandés.

Dans ces conditions, l'aménagement des véhicules pour le travail de la petite messagerie comportera seulement des batteries de sacs et des tables à auget pour déposer les objets et éviter aux trieurs de se baisser. Les allèges métalliques, éclairées et chauffées comme on l'a vu ci-dessus, pourront être transformées, à la demande, en ateliers de tri. Peut-être l'administration verra-t-elle là une amorce de la reprise du service des colis postaux.

VI. L'ÉCHANGE DES DÉPÊCHES SANS ARRÊT DES TRAINS.

Des essais ont été faits en gare de Mer (Loir-et-Cher) avec un appareil américain.

On avait agencé, dans la gare, deux potences servant à la présentation des dépêches, que doit capter une sorte de filet placé dans le wagon-poste et qui se développe en temps voulu en dehors du gabarit. La livraison des dépêches se faisait tout simplement en les poussant du pied au moment indiqué par un signal électrique. Cette livraison, qui dépend de la vitesse du train, a donné quelques mécomptes, mais la prise s'est toujours effectuée régulièrement.

L'échange des dépêches en marche présente peu d'intérêt en

France, parce que l'exploitation des chemins de fer est faite de façon à le rendre inutile. Les grands express s'arrêtent suffisamment et dans assez de gares pour que l'échange puisse avoir lieu sans mécanisme. De plus, des trains omnibus existent, qui balayent les diverses sections que comprend le trajet de l'express, aussi bien dans un sens que dans l'autre, et permettent de faire la cueillette des dépêches à livrer à l'express, ou de déposer ce qui a été reçu de lui.

Cependant, il y a des cas où le dépôt en marche serait désirable. Mais alors, justement, il faudrait que l'entrepreneur de transport en voiture fît le trajet tout exprès pour le service postal sans avoir de voyageurs à prendre. Dans cette situation, les courriers de la voie de terre coûteraient au moins trois fois plus qu'aujourd'hui, ce qui diminue encore les avantages du système.

Pourtant, il se peut que l'Administration ait tout de même intérêt à y recourir, si l'on crée de grands express circulant d'un bout à l'autre du territoire, presque sans arrêt.

LES DISTRIBUTEURS AUTOMATIQUES

DE LIGNES D'ORDRE

Par L. GRELAUD,
Contrôleur principal des Postes et Télégraphes.

L'exploitation d'une ligne de conversation ordinaire donne lieu aux critiques suivantes. Plusieurs téléphonistes (4, 5 et plus) se trouvent à la fois sur la ligne. Les demandes que chacune d'elles formule s'entremêlent, même lorsque la discipline est observée ; il en résulte des répétitions, des discussions, d'où service très pénible pour la téléphoniste B, débordée par celles du départ. Ces dernières, pour passer, élèvent la voix, se gênent et rendent l'audition pénible.

Pour améliorer cette situation, l'Administration utilise, dans certains bureaux, le *distributeur automatique de lignes d'ordres*. Le but poursuivi est de distribuer la ligne de conversation successivement aux diverses téléphonistes de départ qui ont à s'en servir. De cette façon, chacune d'elles est seule en ligne pour faire sa demande. Les discussions sont évitées, ainsi que les répétitions ; l'audition se trouve améliorée, le collationnement devient inutile, et le trafic s'écoule plus rapidement. De plus, les téléphonistes peuvent travailler dans le calme, n'ayant pas à élever la voix.

Pour la mise d'un bureau en distributeur automatique, aucune modification du meuble n'est nécessaire. Seul, le bouton de conversation (un par bureau correspondant) subit une transformation de son équiqement.

*
* *

Sur chaque groupe A, se trouve placée une lampe pilote L (fig. 1). Lorsqu'une opératrice appuie sur le bouton de conver-

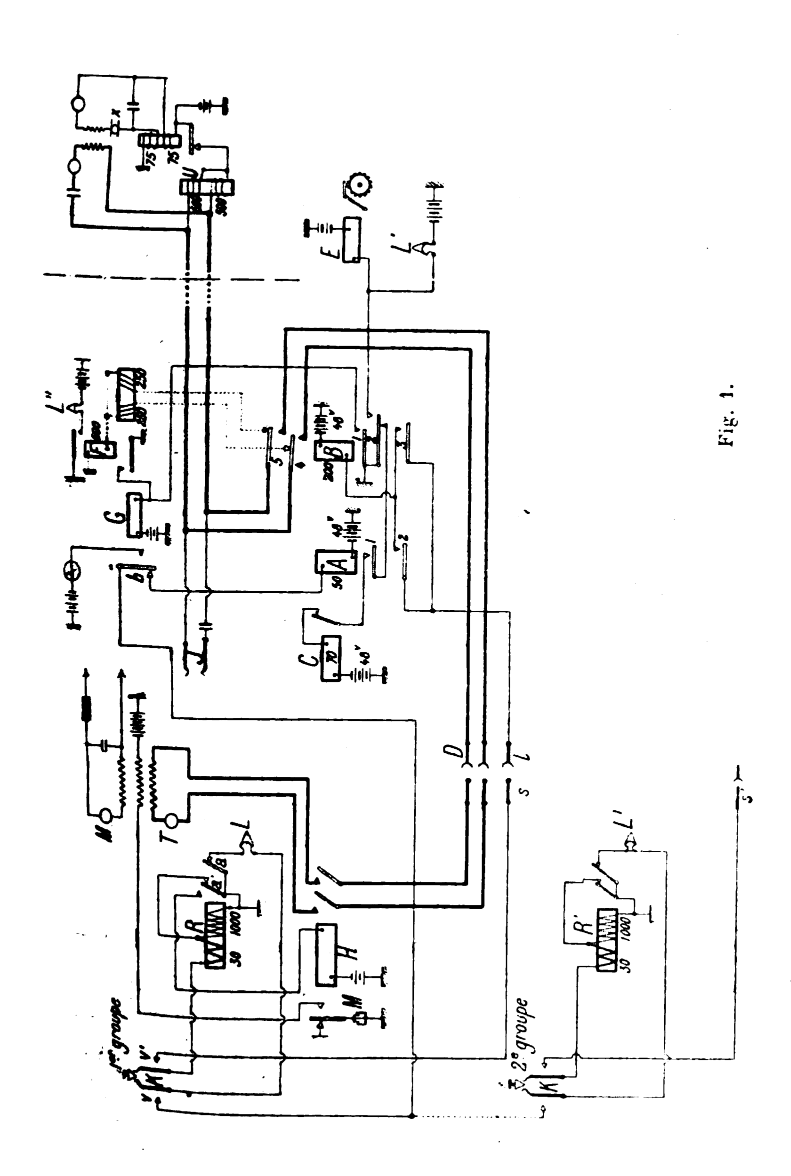


Fig. 1.

sation K, la lampe L s'allume si la ligne est occupée. L'opératrice doit maintenir le bouton enfoncé. Dès que la ligne lui est donnée, la lampe L s'éteint ; en même temps, un léger *clac* se produit dans son récepteur. Sans plus attendre, elle formule sa demande. L'opératrice B indique une ligne auxiliaire à utiliser, sans collationner le numéro demandé. Aussitôt que la téléphoniste est en possession du numéro de la ligne auxiliaire, elle libère le bouton K. Un compteur de trafic enregistre la communication.

Voici, d'après le schéma ci-dessus, l'explication du fonctionnement du système. L'opératrice A appuie sur le bouton K ; un circuit se ferme à travers la lampe L et le relais de commande A. Ce circuit est le suivant : terre du relais R, armature *a* au repos de ce relais, lampe pilote L, contact V du bouton K, armature *b* au repos du relais G, enroulement du relais A et batterie. La lampe L s'allume. Le relais de commande A, en fonctionnant, excite le relais de rotation C. Circuit : terre, armature 2 au repos du relais d'arrêt B, armature 1 attirée au relais A, armature au repos du relais de rotation C, enroulement de ce relais, et batterie. Il est facile de voir que le relais C fonctionne en trembleur.

D'autre part, le contact V′ du bouton K enfoncé met une terre sur le contact S du banc fixe. Circuit : terre, armature *a′* du relais R, enroulement de 30 ohms de ce relais, contact V′, et contact S du distributeur D (c'est le circuit du 3e fil).

* * *

A chaque attraction de l'armature du relais C, le distributeur D déplace d'un cran ces trois frotteurs sur de nouveaux contacts S′ (positions d'opératrices). Lorsque le frotteur *l* rencontre le contact S du banc, un circuit se ferme. Circuit : terre, enroulement de 30 ohms du relais R, contact V′ du bouton B, contact *s* et frotteur *l*, armature 2 attirée du relais A, enroulement du relais B, et batterie. Les relais B et R fonctionnent.

1° Le relais d'arrêt B, en fonctionnant, attire les armatures 1, 2, 3, 4 et 5 ; l'armature 1 met une terre à la sortie du relais G ;

ce relais, excité, coupe en *b* l'alimentation du relais de commande A. Le retour au repos de la double armature de ce dernier relais a les effets suivants :

a) L'armature 1 désamorce le relais de rotation, qui cesse de fonctionner ; le distributeur s'arrête ;

b) L'armature 2, en revenant au repos, cesse de fermer les circuits du relais B ; mais ce circuit se trouve désormais fermé par l'armature 3 attirée.

L'armature 2 du relais B donne terre, d'une part, au compteur de trafic E, qui enregistre la communication, et d'autre part, à une lampe de contrôle, qui brille tant que le relais d'arrêt fonctionne, c'est-à-dire tant que l'opératrice détient la ligne.

Les armatures 4 et 5 assurent, en partie, la continuité de la ligne de conversation.

2° Le relais R, qui fonctionne simultanément avec le relais B, produit les effets suivants : l'armature *a*, en quittant sa butée de repos, coupe le circuit de la lampe L, qui s'éteint (première indication, pour la téléphoniste, que la ligne lui est donnée) ; l'armature *a'*, en venant sur le plot de travail, décourtcircuite les 1000 ohms du relais et vient fermer le circuit du relais H ; celui-ci, par ses armatures de droite, parachève la continuité de la ligne de conversation jusqu'au poste de l'opératrice, et, par son armature de gauche, change l'état électrostatique du condensateur M ; ce dernier, en se chargeant, produit, par induction du troisième enroulement sur le secondaire, un clac dans le récepteur ; c'est la deuxième indication, pour la téléphoniste, que la ligne lui est donnée.

Elle n'a plus qu'à formuler sa demande.

*
* *

Si l'opératrice d'un autre groupe enfonce son bouton K, elle ferme un circuit à travers sa lampe pilote L 1, qui s'allume ; mais si le sectionnement est unique avec le bureau intéressé, ce circuit ne rencontre plus le relais A, l'armature *b* étant sur travail ; c'est à travers un milliampèremètre, indicateur d'attentes,

que le circuit est alimenté. La grandeur de l'élongation de l'aiguille indique à la surveillante de la cabine le nombre d'opératrices en attente. Dès que la ligne est abandonnée par la téléphoniste qui l'occupe, le relais B étant libéré, G revient au repos. Le relais de commande assure alors l'entraînement du rotatif C, jusqu'au moment où le frotteur 1 rencontre le contact S' du banc fixe.

A ce moment, la lampe L 1 s'éteint et le relais B arrête le distributeur.

Si le bureau correspondant comporte plusieurs sectionnements, l'armature *b* du relais G sur travail renvoie le fil de commande sur le relais de commande d'un nouveau distributeur afférent à un second sectionnement.

*
* *

C'est le moment de parler de l'utilité des deux enroulements (30 et 1.000) du relais R.

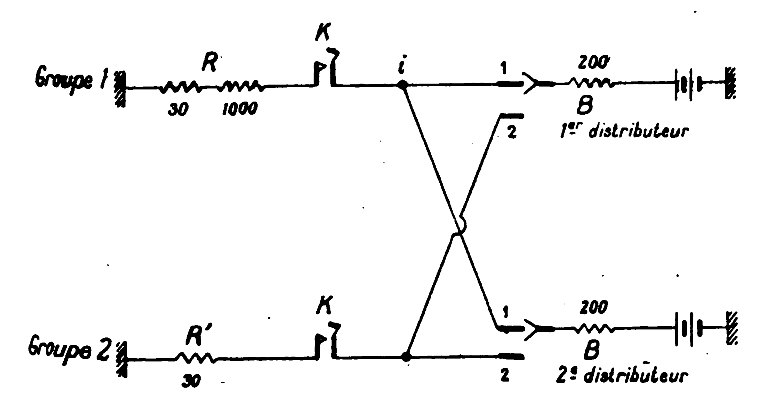
Lorsqu'un premier appel se produit vers un bureau et tant que la ligne n'est pas obtenue, le circuit du 3e fil, nous l'avons dit, s'établit ainsi : terre, enroulement de 30 ohms de R, contact S, et frotteur *l* du distributeur, relais B, et batterie.

La tension aux bornes de B est (sous 48 volts) environ de 40 volts. Par suite, l'intensité magnétique de ce relais est largement suffisante pour assurer son fonctionnement. Aussitôt R fonctionne et ajoute ses 1.000 ohms en série. Il s'ensuit que le voltage aux bornes de B tombe à moins de 8 volts.

Supposons maintenant le cas de deux sectionnements avec le même bureau. Le premier distributeur est tenu par le groupe 1. La tension aux bornes de B, c'est-à-dire entre la batterie et le point *i*, est de 8 volts.

Mais une seconde opératrice appuie sur son bouton K.

Aussitôt, elle met en action un 2e distributeur, par suite du fonctionnement du relais G. Le frotteur du 3e fil de ce distributeur, qui porte la batterie à travers un nouveau relais B, va parcourir les plots du banc fixe du second distributeur et ren-



contrer d'abord le plot 1, conjugué avec le plot 1 du banc du premier distributeur, et, comme il trouve sur ce plot une tension de 8 volts, l'intensité dans le second relais d'arrêt B sera insuffisante pour le faire fonctionner ; le frotteur passera sur ce plot 1 sans s'arrêter, et gagnera le plot 2, où il trouvera la terre à travers les 30 ohms de R′.

*
* *

Une lampe L″ indique à la surveillante de la cabine l'abandon, par l'arrivée, d'un sectionnement.

Elle fonctionne de la façon suivante. A l'arrivée, la self du circuit microphonique est active. Quand la patte est en prise en x, le circuit de la batterie centrale circule à travers le relais 75/75. Son armature est attirée. Lorsque, pour une raison quelconque, l'opératrice retire sa patte, le relais 75/75 cesse d'être excité ; son armuture, revenant au repos, envoie la batterie en quantité sur les deux fils, à travers les deux enroulements d'une bobine U. Ce courant, par l'intermédiaire des palettes 4 et 5 du relais B, trouve sa terre à travers l'enroulement d'un relais F. Ce dernier fonctionne, et attire deux armatures : l'armature

supérieure ferme le circuit local d'une lampe L″ d'inoccupation ; l'armature inférieure, attirée, donne terre au relais G, qui renverra sur un autre sectionnement les appels en instance.

Un jack J, dit *jack de priorité*, en dérivation sur la ligne de conversation, permet à l'opératrice de rentrer sur un sectionnement défini pour y donner un avis urgent ; par exemple : « Resonner sur... », « Je n'ai pas le retour d'appel sur... », etc.

DESCRIPTION DES APPAREILS UTILISÉS AUX POINTS DE RACCORDEMENT

Par la direction des télégraphes et téléphones suisses,

Par F. VOEGELI,

Ancien ingénieur de l'administration suisse,
Ingénieur-conseil à Berne.

Nous nous proposons, dans cet article, de décrire les dispositifs utilisés en Suisse par l'Administration des télégraphes et des téléphones aux points de raccordement des câbles souterrains avec les fils aériens et de donner un aperçu des résultats obtenus par leur emploi.

Nous passerons en revue les différents appareils employés en commençant par les constructions simples réalisées au début et en terminant par les constructions les plus modernes, que l'extension des réseaux de chemins de fer et de tramways électriques a rendu nécessaires afin de protéger efficacement les réseaux téléphoniques contre les perturbations qui résultaient du voisinage de ceux-ci.

Autrefois les lignes téléphoniques suivaient, en effet, les voies de chemin de fer, la Confédération s'étant réservé le droit d'utiliser gratuitement pour leur installation le terrain sur lequel ces voies étaient établies. Aujourd'hui on doit renoncer en grande partie à cette façon de procéder en raison de l'électrification des chemins de fer et il est à prévoir que dans un temps très rapproché les lignes téléphoniques seront toutes installées en câbles souterrains le long des routes. Elles seront ainsi soustraites à l'influence des chemins de fer électriques et le remplacement des fils aériens par des câbles souterrains donnera, de plus, une sécurité complète en ce qui concerne les influences atmosphériques.

Tout spécialiste connaît l'importance primordiale d'une bonne isolation des lignes téléphoniques. Des fuites sur l'un ou l'autre fil ont pour conséquence des perturbations telles que la conversation peut devenir impossible en raison des bruits qui en résultent. Le système duplex dont l'usage se répand de plus en plus exige que la plus grande attention soit donnée à l'obtention d'une isolation bien régulière. Il en est de même pour les points de raccordement des longues lignes aériennes aux câbles souterrains ainsi que pour les dispositifs de sécurité utilisés.

Les appareils employés aux points de raccordement doivent satisfaire aux exigences les plus sévères qu'il est possible de demander pour des appareils soumis à toutes les influences atmosphériques. Les appareils dont la construction est décrite ci-après ont donné de si bons résultats après une durée d'utilisation de dix années que leur emploi exclusif est maintenant décidé. Leur emploi a conduit à une grande économie par suite de la suppression presque complète de l'entretien des appareils de distribution et de sécurité. Alors qu'avec l'ancien système de câbles sous caoutchouc une révision des points de raccordement devait être effectuée tous les trois mois, avec le nouveau système il est à peine nécessaire de les visiter une fois par an.

Ancien système de montage avec câbles sous caoutchouc (fig. 1 et 2). — Les premières lignes de raccordement entre les câbles souterrains et les fils aériens ont été exécutées en câbles sous caoutchouc. Il n'a pas été possible d'employer les câbles sous gutta-percha et sous jute, ces matières ne résistant pas aux agents atmosphériques.

Un câble sous caoutchouc réunit le câble souterrain isolé au papier aux parafoudres et aux coupe-circuits situés dans le socle du pylône, le point de raccordement étant entièrement protégé contre toute introduction d'humidité. De là, un câble spécial muni d'une isolation extra forte en caoutchouc est posé le long du pylône dans lequel a lieu le raccordement de ses différents brins avec les fils aériens.

Schéma de l'ancien raccordement. — Pour faire passer un

abonné d'un fil sur un autre, il fallait déconnecter le câble sous caoutchouc du fil aérien, puis le raccorder au nouveau fil choisi. L'ouvrier chargé de ce travail, devait, pas suite, grimper sur le

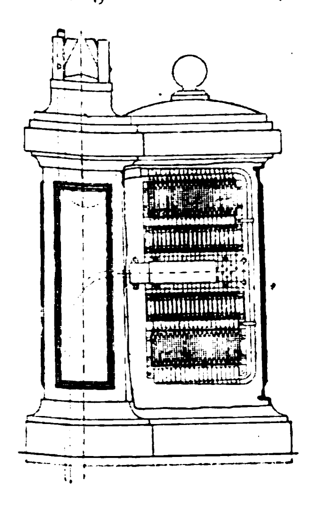


Fig. 1.

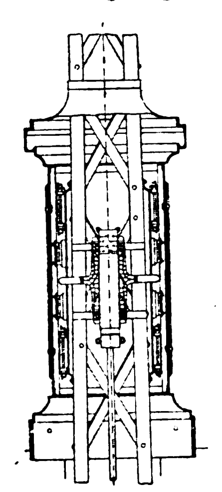


Fig. 2.

pylône et il en résultait des accidents assez nombreux. En outre les fréquents changements de domicile des abonnés dans les villes entraînaient une forte usure des câbles et leur remplacement provoquait beaucoup de gêne dans le service et des dépenses considérables.

Câbles souterrrains isolés au papier. Montage des boîtes d'extrémité de câbles. — Leur emploi présentait, comme le montre la figure 3, une amélioration considérable par rapport aux dispositifs qui viennent d'être décrits. Les câbles isolés au papier ont complètement remplacé les câbles isolés à la gutta-percha à cause du prix élevé de ces derniers. Les câbles sous caoutchouc ont été conservés pour relier les câbles souterrains aux appareils de protection et ceux-ci aux fils aériens. Une boîte de raccordement est placée à l'extrémité du câble souterrain et les parafoudres et coupe-circuits sont montés à côté de celle-ci dans le socle du pylône et reliés aux bornes correspondantes.

Cependant l'influence des agents atmosphériques ne se trouvait

pas éliminée dans les constructions indiquées. En effet, si l'extrémité du câble souterrain se trouvait convenablement isolée, l'humidité et la boue pouvaient cependant pénétrer jusqu'aux pièces de contact situées dans le socle du pylône à une faible hauteur au-dessus du sol.

Dans un réseau de 4.000 abonnés il fallait prévoir une équipe de 4 à 5 hommes rien que pour l'enlèvement de la boue et l'entretien des appareils lorsque le système, de la batterie centrale n'était pas encore introduit. Avec l'adoption de celle-ci les phénomènes d'électrolyse amenèrent la corrosion des parties métalliques provoquant ainsi de fréquentes réparations. Les frais annuels d'entretien pour un pylône comportant 48 isolateurs se montaient à 300 francs environ, alors que le coût d'installation des câbles d'ascension correspondait à un débours de 700 à 800 francs.

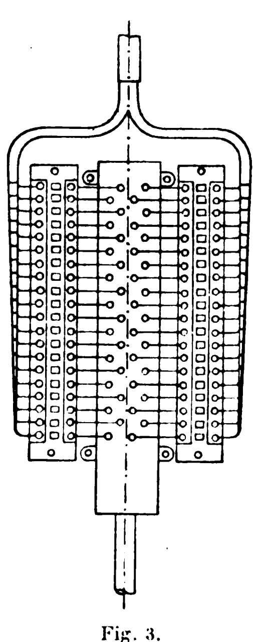


Fig. 3.

Les dispositifs de protection les plus variés ont été successivement essayés afin de maintenir les câbles en bon état de service et éviter leurs changements trop fréquents. Ces essais échouèrent, le but recherché n'ayant pu être atteint. Le fait que les points de raccordement aux boîtes de câbles et aux isolateurs aériens étaient exposés aux influences atmosphériques permettait au courant de suivre le ruban de coton humide des conducteurs des câbles de distribution et de passer ainsi dans le sol. De même et par ce chemin les courants vagabonds des tramways et chemins de fer pouvaient parvenir jusqu'aux lignes téléphoniques. Aucune amélioration ne résulta de l'équipement des extrémités des câbles avec des manchons de porcelaine ou d'ébonite.

C'est alors que peu à peu le nouveau système se dégagea des essais successifs entrepris pour remédier à un état de choses que l'électrification des chemins de fer ne fit que rendre complète-

ment intolérable en raison des plaintes unanimes provoquées par l'isolation insuffisante des installations téléphoniques.

Il fallait éliminer les nombreux inconvénients des dispositifs jusqu'alors employés sans cependant qu'il en résultât une augmentation des frais des installations existantes. Les connexions devaient être soigneusement séchées et soustraites, ainsi que les appareils de distribution et de sécurité à l'influence des agents atmosphériques. Il fallait de plus, prévoir une permutation facile des lignes sans qu'il fût nécessaire d'atteindre pour cela les isolateurs supportant les lignes aériennes et, par suite, de grimper au pylône. C'est pourquoi un répartiteur fut placé dans le coffret de telle sorte que toutes les mutations pouvaient être réalisées sans toucher ni au câble souterrain, ni aux câbles d'ascension. Afin de répondre aux idées modernes il fallait avec le minimum de temps et d'argent réaliser une installation simple dont la capacité d'utilisation devait pouvoir être portée au maximum.

Précédemment l'isolation était soumise à des variations continuelles en raison de l'influence des agents atmosphériques. Il n'était pas rare de constater par temps sec une isolation de plusieurs milliers de mégohms alors que par temps humide cette isolation tombait à 0,005 mégohm et même moins. Avec l'ancienne construction les essais de séchage artificiel n'apportèrent aucun remède à cette situation. Seule une fermeture hermétique empêchant la pénétration de l'air ambiant devait apporter l'amélioration désirée.

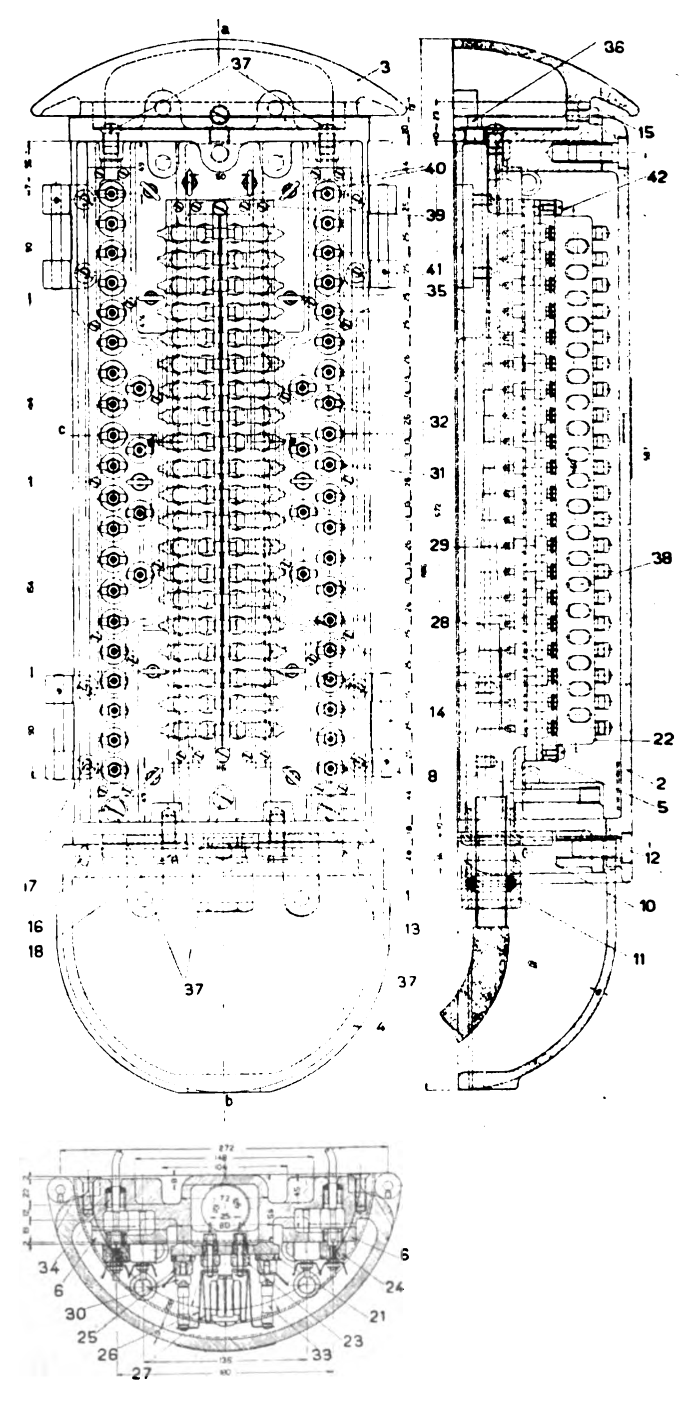
Comme l'indique la figure 4, *le coffret de distribution* se compose :

d'une partie médiane 1 avec porte 2,

— calotte de protection supérieure 3,

— calotte de protection inférieure 4.

Après avoir ouvert la porte 2 et enlevé les goujons 14, les vis de fixation des calottes de protection 3 et 4 peuvent être dévissées et ces calottes enlevées. On rabat alors le coffret en avant pour l'introduction des câbles, puis après l'avoir remis en place, on établit les connexions avec les contacts à souder. Pour relier le



a
37
3
36
15
40
42
39
41
35
32
c
31
29
38
28
14
22
8
2
5
12
10
11
17
16
18
13
37
37
4
b
6
34
6
24
30
21
25
23
26
33
27

Fig. 1

câble souterrain aux contacts correspondants il faut écarter la plaque qui les supporte. Après l'avoir remise en place, on lave l'intérieur avec de la paraffine chaude ou toute autre masse isolante suffisamment fluide jusqu'à ce que l'on ne constate plus la formation d'aucune bulle ce qui est un signe que toute l'humidité est partie.

Pour le montage des 2 fils d'une même ligne on adopte comme

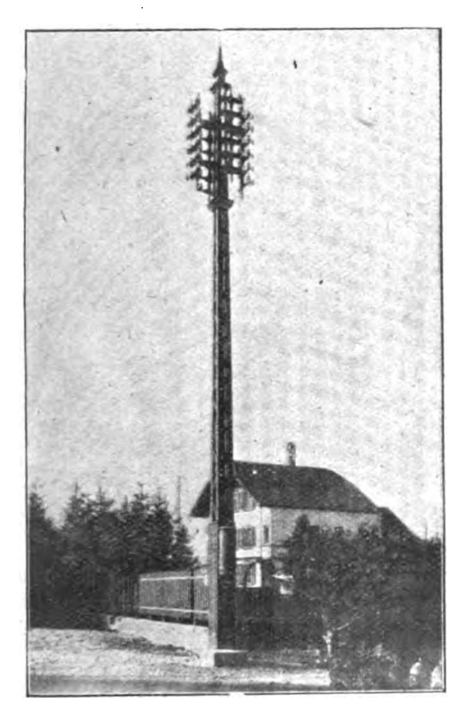


Fig. 5.

règle de les placer en regard l'un de l'autre, c'est-à-dire fil *a* à gauche, fil *b* à droite.

Toutes les lignes non occupées sont mises à la terre dans le coffret même au moyen d'un fil de $1^{mm}, 5$ de diamètre. Chaque coffret est du reste relié à la terre au moyen d'un fil de cuivre de 3^{mm} de diamètre.

La surface d'applique de la boîte 1 et du couvercle 2 étant soigneusement travaillée n'a besoin d'être éventuellement net-

toyée et euduite de graisse consistante que tous les deux ans environ. Par suite de la fermeture hermétique ainsi obtenue tous les appareils contenus à l'intérieur sont complètement à l'abri de l'humidité et soustraits a toutes les influences atmosphériques.

La figure 5 montre un type de pylône métallique, la figure 6

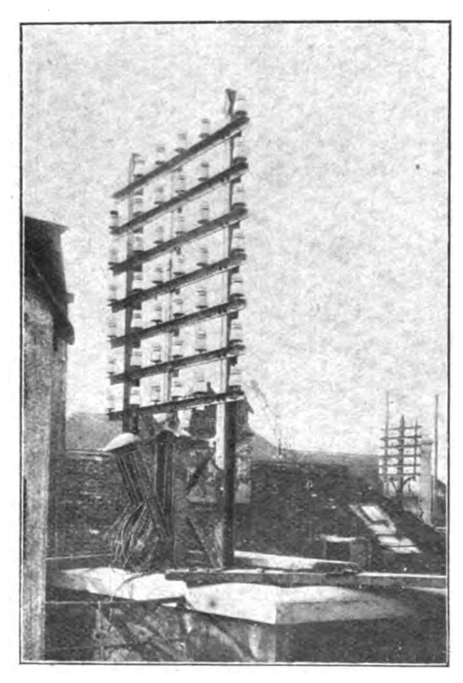


Fig. 6.

l'installation d'un point de raccordement sur un toit pendant le montage, la figure 7 l'application du système à un poteau en bois.

Pour donner aux lignes interurbaines et internationales une isolation parfaite, l'extrémité des câbles sous plomb à un conducteur est également imprégnée avec une masse isolante afin d'éviter toute dérivation du courant.

Toutes ces nouvelles constructions des points de raccordement peuvent être montées sous un simple hangar et amenées termi-

nées aux lieux d'utilisation, ce qui permet un travail en série et un prix de revient intéressant. Chacun comprendra l'avantage qui en résulte au point de vue prix et rapidité d'exécution.

Câble d'ascension à un conducteur. — Le câble d'ascension sert au raccordement des coffrets de distribution avec les isolateurs aériens. Ce câble n'existe qu'en un seul modèle compor-

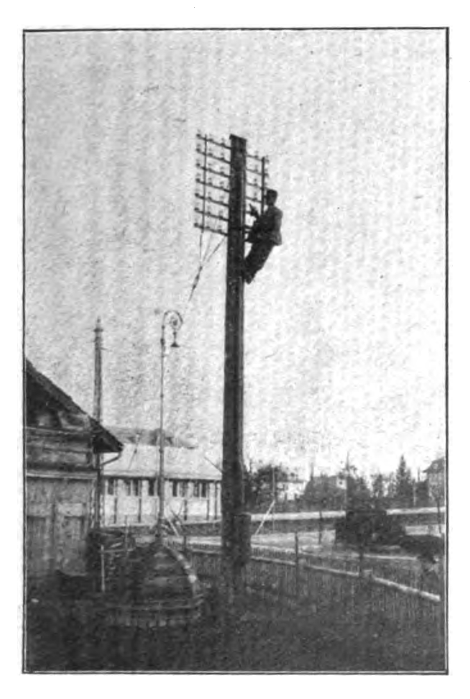


Fig. 7.

tant un fil unique de 1,2 mm. de diamètre isolé au caoutchouc et protégé par une gaine de plomb. Le montage sur les poteaux en bois ou pylônes métalliques est très simple, la fixation des câbles ayant lieu au moyen de conduits en tôle ou en fer profilé. On obtient ainsi un montage propre, économique et d'aspect agréable.

Isolateur de raccordement. — La figure 8 montre cet isolateur en coupe verticale et vu de dessus couvercle enlevé et

indique la façon dont le câble d'ascension est raccordé au fil aérien.

Après avoir introduit le câble dans la cavité centrale située

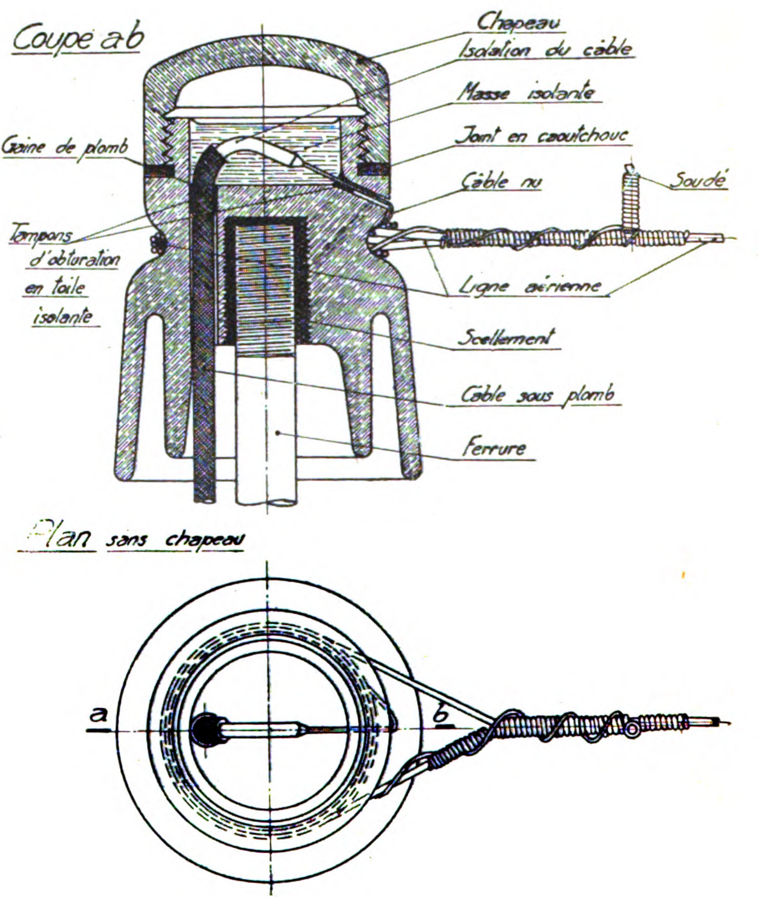


Fig. 8.

dans la tête de l'isolateur, son extrémité est dénudée comme le montre la figure, de telle sorte que le fil nu sort seul de la tête de l'isolateur par un petit trou latéral. On lui donne une longueur suffisante pour pouvoir l'enrouler plusieurs fois dans la gorge de l'isolateur avant de le souder au fil aérien et permettre ainsi des réparations éventuelles.

La gaine en plomb, la tresse et l'isolation en caoutchouc s'arrêtent dans la cavité centrale, celle-ci étant remplie d'une masse isolante coulée. De plus, le couvercle à pas de vis assure une étanchéité parfaite de la cavité par suite du joint en caoutchouc serré entre le chapeau et la tête de l'isolateur. L'extrémité du câble d'ascension est ainsi complètement mise à l'abri de l'humidité et toute perte de courant absolument évitée.

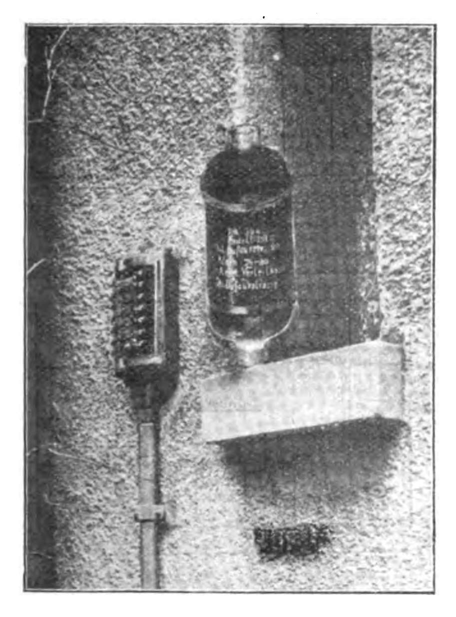


Fig. 9.

Plus de 500.000 isolateurs de ce modèle sont à l'heure actuelle en service en Suisse et les mesures d'isolement effectuées ont toujours donné des chiffres excellents 10.000 mégohms et plus même par temps de brouillard.

Numérotage des lignes dans les supports d'isolateurs et les boîtes de raccordement. — La numérotation des points de soudure des câbles sous plomb à un conducteur correspond à la numérotation des coupe-circuits et parafoudres par exemple de haut en bas de 1 à 20 en laissant au-dessus la place pour les câbles correspondants aux isolateurs de réserve. La numérota-

tion de ceux-ci a également lieu de haut en bas. Si l'importance d'un point de distribution rend nécessaire l'emploi de deux boîtes de raccordement, la première boîte est numérotée de 1 à

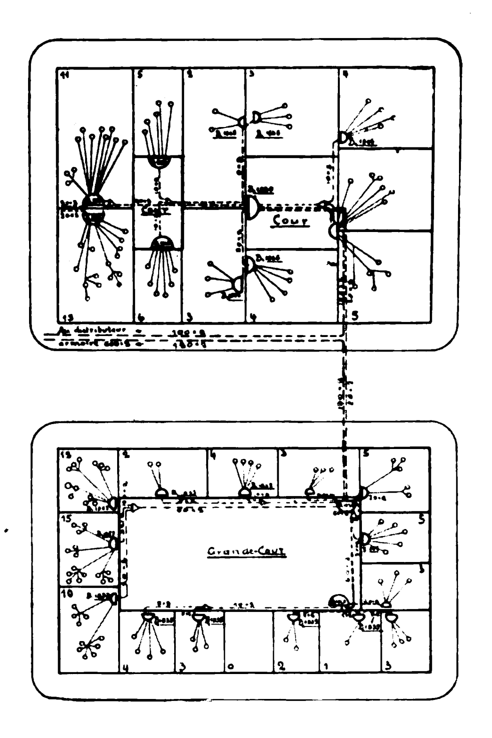


Fig. 10.

20, la seconde de 21 à 40, les réserves portant les numéros 41 à 44 et 45 à 48.

Pour les supports à 56 isolateurs, les coffrets sont construits de telle sorte que les 56 fils puissent y être introduits, la numérotation dans ceux-ci des points de connexion étant établie sur une base semblable, les câbles de réserve numérotés en haut 21 à 25 et en bas 26 à 28.

Le numérotage des lignes et des isolateurs sur leurs supports se fait par panneaux désignés par I, II, III, IV, etc... en comptant dans le sens des aiguilles d'une montre ; sur chaque panneau le numérotage a lieu d'une façon continue en procédant de gauche

à droite et de haut en bas, l'observateur étant supposé placé au centre du pylône, son regard dirigé dans la direction vers laquelle les fils s'éloignent du pylône.

Les supports à 4 faces et plus se voient attribuer le n° I pour le panneau tourné vers le nord, puis la numérotation des autres panneaux a lieu suivant les règles ci-dessus.

Au cours de ces dernières années plusieurs milliers de points

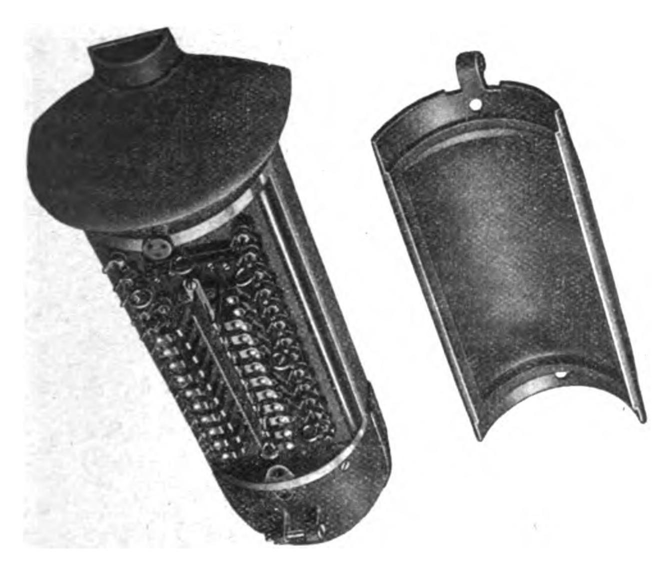


Fig. 11.

de distribution spécialement sur les lignes interurbaines ont été modifiés. Les lignes aériennes sont du reste de plus en plus abandonnées en raison des frais élevés d'entretien qu'elles nécessitent par suite de leur exposition aux intempéries. Dans ces conditions il est bien préférable d'installer un câble souterrain dès que le nombre de paires de fils atteint 12, on a ainsi la certitude que la ligne échappera aux dégâts que des personnes mal intentionnées lui font fréquemment subir. A l'heure actuelle les grands centres comme Berne, Zurich et Genève sont en grande partie complètement équipés en lignes souterraines. L'isolation obtenue aux points de raccordement équipés avec des boîtes en bois ou en tôle était totalement insuffisante et il a fallu créer

un grand nombre de coffrets afin de répondre à tous les besoins.

La figure 9 montre un coffret de distribution pour cinq paires de câbles. Le câble souterrain ainsi que les fils de distribution aux postes d'abonnés sont reliés comme nous l'avons indiqué plus haut.

Le schéma 10 montre la façon dont est exécutée la distribution

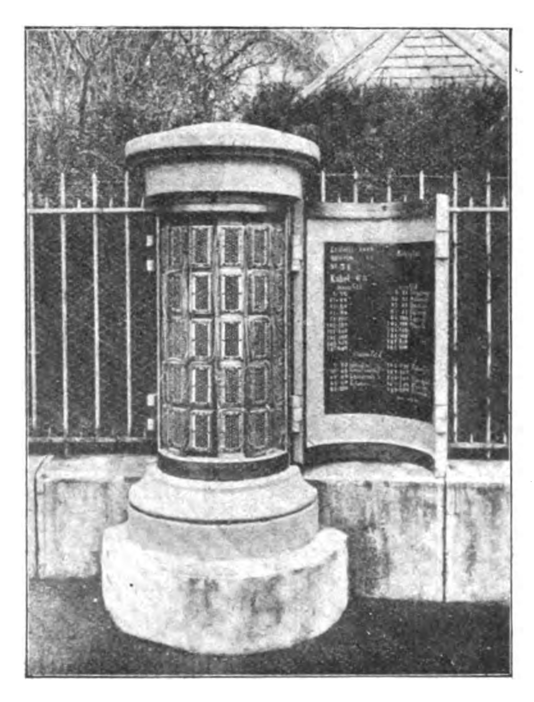


Fig. 12.

d'un câble principal en ayant soin de garder en réserve un nombre suffisant de jonctions pour satisfaire aux demandes des abonnés correspondant à l'extension prévue du réseau pendant une période de dix ans environ sans qu'il soit nécessaire d'apporter aucun changement aux câbles en dehors des modifications obtenues dans les boîtes elles-mêmes.

La figure 11 montre une boîte de raccordement mixte pour un réseau peu dense dans lequel une partie des lignes est aérienne, l'autre souterraine. Les lignes aériennes sont protégées par des coupe-circuits et des parafoudres.

La figure 12 montre une armoire de distribution pour 200 paires de câbles.

Comme conclusion, nous pouvons affirmer que l'emploi des nouveaux modèles de coffrets et armoires de distribution, avec ou sans dispositifs de protection, ainsi que des isolateurs spéciaux de raccordement a conduit à une amélioration considérable de l'isolement des lignes, évitant ainsi toute cause de perturbation dans l'exploitation, ce qu'il n'était absolument pas possible d'obtenir avec les anciens systèmes de boîtes en bois ou en tôle à fermeture non hermétique. Le rendement des lignes s'en trouve accru et les économies réalisées dans l'entretien permettent de développer de plus en plus les réseaux souterrains en raison des inconvénients présentés par les lignes aériennes.

APPLICATION
DU CALCUL DES PROBABILITÉS
à l'exploitation téléphonique (1)

Par A.-E. VAULOT,
Ingénieur des Postes et Télégraphes.
Agrégé de Mathématiques, Docteur ès Sciences.

L'application du calcul des probabilités à la détermination du nombre de jonctions nécessaires dans un bureau central automatique a déjà fait l'objet d'un nombre considérable d'articles de revues (2). Dans l'étude qui suit, l'auteur démontre les formules d'Erlang dans le cas où il n'y a pas de dispositif de délai d'attente et dans le cas où un tel dispositif existe : elles sont des conséquences absolument rigoureuses d'hypothèses simples et précises. Il établit, en outre, plusieurs résultats nouveaux et importants : il détermine la proportion d'appels perdus dans l'hypothèse où il n'y a pas de dispositif de délai d'attente ; il calcule le trafic écoulé par chaque ligne dans le cas d'une exploration méthodique pour le cas où il n'y a pas de dispositif de délai d'attente et pour le cas où un tel dispositif existe ; il étudie le problème des lignes communes et indique une méthode, appliquée à un exemple simple, permettant de traiter rigoureusement la question ; il donne ensuite au même problème des solutions approchées et souvent suffisantes.

I. Exposé du problème. — Le nombre d'organes élémentaires à prévoir dans un bureau automatique se calcule d'après le trafic à assurer pendant l'heure la plus chargée de la journée : il dépend essentiellement du nombre de conversations pendant cette heure et de la durée de chacune d'elles.

---

(1) Extrait de la *Revue générale de l'électricité* (13 septembre 1924).

(2) Des bibliographies de ces articles ont été données dans les *Annales*

Quand tous les sélecteurs sont engagés, les abonnés qui décrochent leur récepteur pour faire un appel ne peuvent aboutir. Pour que le trafic soit satisfaisant, il faut que la probabilité de trouver ainsi tous les sélecteurs occupés soit assez faible; le problème consiste donc à déterminer le nombre x des lignes auxiliaires de façon que la proportion d'appels n'aboutissant pas soit inférieure à une quantité donnée, 0,001 par exemple.

II. Formule de Poisson. — Nous prendrons comme unité de temps la durée *moyenne* d'une communication.

Nous supposons que les appels des abonnés se produisent absolument au hasard. On connaît le nombre *moyen* y des appels qui se produisent dans l'unité de temps et notre hypothèse revient à admettre que la probabilité qu'il se produise un appel pendant un temps élémentaire dt est $y\,dt$. Dans ces conditions, la probabilité qu'il se produise exactement n appels pendant un temps T est

$$e^{-y\mathrm{T}}\frac{(y\mathrm{T})^n}{n!}, \qquad (1)$$

en posant conventionnellement $0! = 1$ et $0^0 = 1$.

---

des Postes, Télégraphes et Téléphones, juillet-août 1922, t. XI, p. 817 et dans la *R. G. E.*, du 19 mars 1921, t. XI, p. 392.

Parmi les études postérieures à ces deux bibliographies, il convient de citer :

HOLM. *Calculation of blocking factors of automatic exchanges* (*The Post Office Electrical Engineers' Journal*, du 15 avril 1922, p. 22).

M. MERKER. *Some notes on the use of the probability theory to determine the number of switches in an automatic telephone exchange* (*The Post Office Electrical Engineers' Journal* du 16 janvier 1924, p. 347, et du 17 avril 1924, p. 27).

ID. *Quelques remarques sur l'emploi du calcul des probabilités dans la détermination du nombre de sélecteurs d'un bureau central automatique* (*Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*, mars 1924, t. XIII, p. 299-343).

E.-C. MOLINA. *The Theory of Probabilities Applied to Telephone Trunking Problems* (*Bell System Technical Journal* de novembre 1922, p. 69).

ID. *Application de la théorie des probabilités aux problèmes des jonctions téléphoniques*. Traduction de l'article précédent (*Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*, mai 1924, t. XIII, p. 530-544).

Les problèmes mathématiques et la téléphonie automatique. (*Revue des Téléphones, Télégraphes et Télégraphie sans fil*, de juillet 1924, p. 487 et d'août 1924, p. 579).

Cette formule a été établie pour la première fois par Poisson en 1837 (*Recherches sur la probabilité des jugements*, § 81) ; elle a été retrouvée depuis par plusieurs auteurs (1).

Si l'on applique cette formule au cas de T = 1, on obtient un résultat que l'on peut énoncer de la façon suivante :

Si le nombre des sélecteurs est assez grand pour qu'aucun appel ne soit perdu, la probabilité pour que n *communications soient en cours simultanément est*

$$e^{-y}\frac{y^n}{n!}.$$

A la vérité la formule de Poisson ne donne cet énoncé qui si les communications ont toutes la même durée, mais on l'étend facilement au cas où les communications ont des durées différentes, dont la moyenne est l'unité. On commence par démontrer la formule dans le cas où les durées des communications

---

(1) *Note de la rédaction des Annales.* — M. Émile Borel a donné de la formule de Poisson une démonstration que nous reproduisons en substance ci-après :

Problème. — Des points sont distribués au hasard sur une droite indéfinie (comme des demandes de communications téléphoniques au cours du temps), de telle manière qu'il y en ait en moyenne un par unité de longueur (l'intensité moyenne du trafic est donnée). Quelle est la probabilité pour qu'il y en ait précisément n dans un intervalle de longueur donnée x ? (quelle est la probabilité pour qu'il y ait n appels, pendant une durée donnée x ?).

Supposons tout d'abord que la droite ne soit pas illimitée, mais qu'elle ait une longueur très grande L et renferme N points ; par hypothèse, le rapport $\frac{N}{L}$ tendra vers l'unité, quand L augmentera indéfiniment.

Soit ϖ_n la probabilité pour que l'intervalle donné x renferme n points déterminés par leur nom parmi les N points situés dans l'intervalle total L et p_n la probabilité pour que l'intervalle x renferme n points non spécifiés on a évidemment :

$$p_n = \varpi_n \frac{N!}{n(N-n)!}.$$

On peut écrire de même :

$$p_{n+1} = \varpi_{n+1}\frac{N!}{(n+1)!(N-n-1)!},$$

et l'on en déduit :

$$\frac{p_{n+1}}{p_n} = \frac{\varpi_{n+1}}{\varpi_n}\,\frac{N-n}{n+1}.$$

Nous allons évaluer le rapport $\frac{\varpi_{n+1}}{\varpi_n}$; désignons par $A_1 A_2 \ldots A_n$,

sont de deux sortes; on en conclut, par récurrence, que la formule est exacte si les durées des communications sont d'un nombre de sortes fini, mais quelconque; par un passage à la limite, il en résulte que la loi est tout à fait générale.

III. **Hypothèse sur la durée des communications.** — En ce qui concerne la durée de chaque communication, une loi souvent adoptée est la suivante :

On suppose que la probabilité pour qu'une communication ait une durée supérieure à t est e^{-t}.

Dans cette hypothèse, la probabilité pour qu'une communication en cours se termine entre l'époque actuelle t et l'époque suivante infiniment voisine $t + dt$ est :

$$\frac{e^{-t} - e^{-(t+dt)}}{e^{-t}} = 1 - e^{-dt} = dt$$

A_{n+1}, $n + 1$ points déterminés, ϖ_n sera la probabilité pour que tous les n premiers $A_1 A_2 \ldots A_n$ soient dans l'intervalle donné, tous les autres A étant en dehors et ϖ_{n+1} la probabilité pour que tous les $n + 1$ points appelés $A_1 A_2 \ldots A_{n+1}$ soient dans l'intervalle donné, tous les autres A étant en dehors. Dans les deux cas, les points $A_1 A_2 \ldots A_n$ sont dans l'intervalle, et les points $A_{n+2}, \ldots$ sont en dehors; la différence entre ces deux cas, c'est que pour la probabilité ϖ_{n+1} le point A_{n+1} est dans l'intervalle x, tandis que pour la probabilité A_n, ce point est dans l'intervalle $L - x$; on a donc :

$$\frac{\varpi_{n+1}}{\varpi_n} = \frac{x}{L - x}.$$

On en conclut :

$$\frac{p_{n+1}}{p_n} = \frac{x}{n+1} \quad \frac{N - n}{L - x}.$$

Si nous faisons croître L indéfiniment, le rapport $\frac{N}{L}$ tend vers l'unité, n et x restant fixes, et l'on a, à la limite,

$$\frac{p_{n+1}}{p_n} = \frac{x}{n+1}.$$

On conclut de là

$$p_n = p_0 \frac{x^n}{n\,!}.$$

Et comme on a évidemment

$$\sum_n^{\infty} p_n = 1,$$

Il en résulte

$$p_0\, e^x = 1 \qquad\qquad p_n = \frac{x^n}{n\,!} e^{-x}.$$

résultat indépendant de t et qui permettra, par conséquent, d'appliquer la formule (1) de Poisson aux fins de conversations. Cette propriété fondamentale est d'ailleurs caractéristique de la loi ci-dessus énoncée.

IV. **Relations entre les probabilités d'occupation de 1, 2,..., x lignes.** — En adoptant l'hypothèse énoncée au paragraphe précédent, nous allons déterminer la probabilité pour qu'un appel soit perdu.

Considérons un groupe de x lignes recevant ensemble en moyenne y appels par unité de temps ; les appels sont supposés indépendants et nous admettons qu'il est répondu à chacun d'eux instantanément s'il existe une ou plusieurs lignes libres au moment où il se produit ; la durée moyenne d'un appel est prise pour unité de temps.

Appelons P_i la probabilité pour que le nombre des lignes occupées soit i. Nous allons chercher des relations entre les $x+1$ inconnues :

$$P_0, P_1, \dots, P_x.$$

Supposons qu'à l'instant t le nombre des lignes occupées soit i. A l'instant antérieur $t - dt$, il était soit i, soit un nombre différent.

Appliquons les principes des probabilités totales et composées, en supposant d'abord $0 < i < x$.

Si le nombre de lignes occupées à l'instant $t - dt$ est i (événement de probabilité P_i), il sera encore i à l'instant t sauf dans les cas suivants :

ou bien il s'est produit un appel dans le groupe, événement de probabilité $y\,dt$;

ou bien un des i appels en cours s'est terminé, événement de probabilité $i\,dt$;

ou il s'est produit un ou plusieurs appels et il s'en est terminé un nombre différent, événements dont la probabilité est d'ordre supérieur à dt.

Si, maintenant, le nombre des lignes occupées à l'instant $t - dt$ est $i - 1$ (événement de probabilité P_{i-1}), il sera i à l'instant t dans les cas suivants :

ou bien il s'est produit un appel, événement de probabilité $y\,dt$;

ou bien il s'est produit p appels ($p < 1$) en même temps qu'il s'en terminait un de moins, événement dont la probabilité est d'ordre supérieur à dt.

Si le nombre de lignes occupées à l'instant $t - dt$ est $i + 1$ (événement de probabilité P_{i+1}), il sera i à l'instant t dans les cas suivants :

ou bien il s'est terminé un appel, événement de probabilité $i\,dt$;

ou bien il s'est produit p appels en même temps qu'il s'en terminait un de plus, événement dont la probabilité est d'ordre supérieur à dt.

Il y a bien d'autres états à l'instant $t - dt$ qui peuvent donner i lignes occupées à l'instant t, mais la probabilité des événements nécessaires pour passer du premier état au second est d'ordre supérieur à dt.

On a donc

$$P_i = P_i\,(1 - y\,dt - i\,dt + \ldots) + P_{i-1}\,(y\,dt + \ldots) + P_{i+1}\,[(i+1)\,dt + \ldots] + \ldots, \qquad (2)$$

les termes représentés par des points étant d'ordres supérieurs au premier en dt.

Pour $i = o$, l'équation (2) devrait être modifiée parce que le nombre de lignes occupées ne peut pas être négatif ; on aura alors

$$P_0 = P_0\,(1 - y\,dt + \ldots) + P_1\,(dt + \ldots) + \ldots \qquad (3)$$

Pour $i = x$, l'équation (2) devrait également être modifiée parce que le nombre des lignes occupées ne peut pas être supérieur à x ; on aura alors

$$P_x = P_x\,(1 - x\,dt + \ldots) + P_{x-1}\,(y\,dt + \ldots) + \ldots \qquad (4)$$

Dans chacune des équations (3), (2) et (4), on obtient une identité en égalant les parties finies. En égalant les quantités du premier ordre en dt, on obtient des équations, au nombre de $x + 1$, qui sont

$$\left.\begin{aligned}
y\,P_0 &= P_1,\\
(y+1)\,P_1 &= y\,P_0 + 2\,P_2,\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
(y+i)\,P_i &= y\,P_{i-1} + (i+1)\,P_{i+1},\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
(y+x-1)\,P_{x-1} &= y\,P_{x-2} + x\,P_x,\\
y\,P_{x-1} &= x\,P_x.
\end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

On a un système beaucoup plus simple en remplaçant chaque équation par celle que l'on obtient en l'ajoutant membre à membre à toutes celles qui la précèdent et en simplifiant. On a ainsi le système.

$$\left.\begin{aligned}
y\,P_0 &= P_1\\
y\,P_1 &= 2\,P_2\dots\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
y\,P_i &= (i+1)\,P_{i+1}\dots\\
&\dots\dots\dots\dots\dots\dots\\
y\,P_{x-2} &= (x-1)\,P_{x-1}\\
y\,P_{x-1} &= x\,P_x.
\end{aligned}\right\} \qquad (6)$$

Ces équations ne sont plus qu'au nombre de x, parce qu'on obtient une identité en ajoutant membre à membre les équations (5).

Il faut maintenant distinguer, suivant que l'on a ou non un dispositif de délai d'attente.

V. Cas où il n'y a pas de dispositif de délai d'attente. — S'il n'y a pas de dispositif de délai d'attente, les seuls cas possibles sont l'occupation de $0, 1, \dots x-1, x$ lignes. Ces cas s'excluant, on a

$$P_0 + P_1 + \dots + P_i + \dots + P_{x-1} + P_x = 1. \qquad (7)$$

Or, on tire de (6)

$$P_1 = y\,P_0, \qquad P_2 = \frac{y}{2}\,P_1 = \frac{y^2}{2!}\,P_0\dots,$$

$$P_i = \frac{y^i}{i!}\,P_0\dots, \qquad P_x = \frac{y^x}{x!}\,P_0,$$

d'où en portant dans (7)

$$P_0\left(1 + y + \frac{y^2}{2} + \dots + \frac{y^x}{x!}\right) = 1,$$

et par suite

$$\left.\begin{aligned}
P_0 &= \frac{1}{1+\frac{y}{1}+\frac{y^2}{2!}+\cdots\frac{y^x}{x!}},\\
P_1 &= \frac{\frac{y}{1}}{1+\frac{y}{1}+\frac{y^2}{2!}+\cdots+\frac{y^x}{x!}},\\
P_i &= \frac{\frac{y^i}{i!}}{1+\frac{y}{1}+\frac{y^2}{2!}+\cdots+\frac{y^x}{x!}},\\
P_x &= \frac{\frac{y^x}{x!}}{1+\frac{y}{1}+\frac{y^2}{2!}+\cdots+\frac{y^x}{x!}}.
\end{aligned}\right\} \quad (8)$$

Ces formules dues à Erlang sont vraies quels que soient x et y ; on peut avoir en particulier $y \geqslant x$. Elles sont des conséquences *rigoureuses* des hypothèses adoptées : indépendance des appels qui sont supposés traités instantanément s'ils se produisent à un moment où les lignes ne sont pas toutes occupées et durée de ces appels répondant à l'hypothèse du paragraphe III.

VI. Proportion d'appels perdus dans le cas où il n'y a pas de dispositif de délai d'attente. — La fraction du temps pendant laquelle les x lignes seront occupées étant P_x, le nombre de communications qui se présenteront pendant ce temps, c'est-à-dire le nombre des communications perdues sera $y\,P_x$, puisque par hypothèse, les appels se produisent indépendamment les uns des autres et qu'il y en a, en moyenne, y T pendant une durée T quelconque.

P_x représente la probabilité qu'aurait une personne venant au bureau de trouver les x lignes occupées ; c'est aussi la probabilité qu'aurait un abonné de trouver les x lignes occupées lorsqu'il décroche son appareil.

Ce point essentiel ayant été contesté, vérifions-le par un calcul simple.

Le trafic total écoulé est, en l'évaluant par le nombre moyen de communications données pendant l'unité de temps (durée moyenne d'une communication),

$$N = P_1 + 2P_2 + \ldots + iP_i + \ldots + xP_x$$

$$= \frac{y + \frac{y^2}{1} + \frac{y^3}{2!} + \ldots + \frac{y^x}{(x-1)!}}{1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2!} + \ldots + \frac{y^x}{x!}}, \qquad (9)$$

Comme il se présente y communications par unité de temps, le nombre moyen de communications manquées sera, par unité de temps.

$$M_x = y - N = y - \frac{\frac{y^2}{1} + \frac{y^3}{2!} + \ldots + \frac{y^x}{(x-1)!}}{1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2!} + \ldots + \frac{y^x}{x!}}.$$

$$= \frac{\frac{y^{x+1}}{x!}}{1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2!} + \ldots + \frac{y^x}{x!}}, \qquad (10)$$

et la proportion d'appels perdus est bien

$$\frac{y - N}{y} \equiv P_x.$$

Si le lecteur était encore tenté d'admettre que la proportion d'appels perdus est non pas P_x, mais la probabilité plus ou moins corrigée pour qu'il se produisît plus de x appels pendant l'unité de temps, il n'aurait qu'à voir à quelle absurdité conduirait ce dernier résultat pour les petites valeurs de x, notamment pour $x = 0$.

VII. **Calcul du trafic écoulé par chaque liaison dans le cas d'une exploration méthodique des lignes, sans dispositif de délai d'attente.** — Si l'on suppose que les x lignes sont numé-

rotées de 1 à x et explorées méthodiquement, de façon qu'une communication qui se présente soit écoulée sur la ligne 1 si celle-ci est libre, sur la ligne 2 si la ligne 1 est occupée, sur la ligne 3 si 1 et 2 sont simultanément occupées, et ainsi de suite, il est facile de calculer le trafic écoulé sur chaque ligne.

Si la première ligne était seule, le trafic qu'elle permet d'écouler serait donné par la formule (9) où l'on fait $x = 1$

$$N_1 = \frac{y}{1 + y},$$

et le nombre de communications manquées serait donné par la formule (10)

$$M_1 = \frac{y^2}{1 + y}, \frac{y^2}{1 + y}.$$

Si les deux premières lignes existaient seules, le nombre de communications manquées serait

$$M_2 = \frac{\frac{y^3}{2!}}{1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2!}}.$$

Le trafic écoulé par la deuxième ligne sera donc

$$N_2 = M_1 - M_2 = \frac{y^2}{1 + y} - \frac{\frac{y^3}{2!}}{1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2!}}.$$

D'une façon générale, le trafic écoulé par la ligne d'ordre i sera

$$N_i = M_{i-1} - M_i = \frac{\frac{y^i}{(i-1)!}}{1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2!} + \dots + \frac{y^{i-1}}{(i-1)!}} - \frac{\frac{y^{i+1}}{i!}}{1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2} + \dots + \frac{y^i}{i!}}. \qquad (11)$$

Le nombre moyen des appels qui se présentent devant cette même ligne est, par unité de temps,

$$M_{i-1} = \frac{\dfrac{y^i}{(i-1)!}}{1 + \dfrac{y}{1} + \dfrac{y^2}{2!} + \cdots + \dfrac{y^{i-1}}{(i-1)!}}.$$

Mais il est essentiel de remarquer que, si les appels qui se présentent devant la première ligne sont indépendants entre eux par hypothèse, il n'en est pas de même de ceux qui se présentent devant les autres lignes.

VIII. **Modifications à apporter si l'on suppose que le trafic est une fonction décroissante du nombre de lignes occupées.** — Si cela présentait quelque utilité, il serait très facile de modifier les raisonnements faits aux paragraphes IV et V de façon à obtenir des formules valables dans le cas où l'on admettrait que les appels restent répartis au hasard, mais que l'intensité de trafic dépend du nombre de lignes occupées.

Supposons, par exemple, que l'intensité de trafic soit de la forme $y - \lambda i$, y et λ étant des constantes et i, le nombre de lignes occupées.

En recommençant le raisonnement du paragraphe IV, on trouve, au lieu des équations (5), les équations suivantes, où les nouvelles probabilités sont affectées d'accents,

$$\left.\begin{array}{l}
y\, P'_0 = P'_1, \\
(y - \lambda + 1)\, P'_1 = y\, P'_0 + 2\, P'_2, \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
(y - \lambda i + i)\, P'_i = [y - \lambda(i-1)]\, P'_{i-1} + (i+1) P'_{i+1}, \\
\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\
[y - \lambda(x-1) + x - 1]\, P'_{x-1} = [y - \lambda(x-2)]\, P'_{x-2} + x P'_x, \\
[y - \lambda(x-1)]\, P'_{x-1} = x\, P'_x.
\end{array}\right\} \quad (12)$$

Remplaçons chacune des équations (12) par celle que l'on obtient en l'ajoutant membre à membre à toutes celles qui la précèdent ; il vient après simplifications :

$$\left.\begin{array}{l} y\ P'_0 = P'_1, \\ (y - \lambda)\ P'_1 = 2\ P'_2, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ (y - \lambda i)\ P'_i = (i+1)\ P'_{i+1}, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ [y - \lambda\ (x-1)]\ P'_{x-1} = x\ P'_x, \end{array}\right\} \quad (13)$$

L'équation (7) subsiste, bien entendu et on tire de (13)

$$\left.\begin{array}{l} P'_1 = y\ P'_0, \\ P'_2 = \dfrac{y-\lambda}{2}\ P'_1 = \dfrac{y\ (y-1)}{2\ !}\ P'_0. \\ P'_i = \dfrac{y\ (y-\lambda)\dots\ [y - \lambda\ (i-1)]}{i\ !}\ P'_0, \\ P_x{}' = \dfrac{y\ (y-\lambda)\dots\ [y - \lambda\ (x-1)]}{x!}\ P'_0, \end{array}\right\} \quad (14)$$

En portant dans $P'_0 + P'_1 + \dots P'_i + \dots + P'_x = 1$, on obtient

$$P'_0\left[1 + y + \frac{y(y-\lambda)}{2} + \dots + \frac{y\ (y-\lambda)\dots[y-\lambda(x-1)]}{x\ !}\right] = 1,$$

et, par suite,

$$P'_0 = \frac{1}{1 + y + \dfrac{y\ (y-\lambda)}{2} + \dots + \dfrac{y\ (y-\lambda)\dots[y-\lambda\ (x-1)]}{x\ !}}.$$

On en déduirait P'_1, $P'_2, \dots$ P'_x par application des formules (14).

On a, en particulier,

$$P'_x = \frac{\dfrac{y\ (y-\lambda\dots\ [y-\lambda\ (x-1)]}{x\ !}}{1 + \dfrac{y}{1} + \dfrac{y\ (y-\lambda)}{2\ !} + \dots + \dfrac{y\ \ (y-1)\dots[y-\lambda\ (x-1)}{x\ !}}$$

La proportion d'appels perdus se calcule ici encore facilement. La fraction du temps pendant laquelle les x lignes sont occupées est P'_x et le nombre de communications qui se présentent pen-

dant ce temps est $(y - \lambda x)\, P'_x$. La proportion d'appels perdus est donc

$$\frac{y - \lambda x}{y} P'_x = \left(1 - \lambda \frac{x}{y}\right) P'_x.$$

IX. **Extension au problème des lignes communes.** — On peut résoudre, d'après des principes identiques, le problème des lignes communes multipliées.

Nous allons faire le calcul complet dans un cas simple.

Considérons deux groupes d'abonnés identiques 1 et 2. Chaque groupe dispose d'une ligne, L_1 pour le premier, L_2 pour le second, et une troisième ligne L est commune aux deux groupes.

Lorsqu'un appel se produit dans le groupe 1 (ou dans le groupe 2), il est pris par L_1 (ou par L_2) si cette ligne est libre, sinon il est pris par L supposée libre.

En aucun cas, un appel produit dans le groupe 1 ne peut être pris par L_2 et un appel produit dans le groupe 2 ne peut être pris par L_1.

Les divers états possibles sont :

Aucune ligne occupée,		probabilité	a
Occupation de	L,	id.	b
id.	L_1,	id.	c
id.	L_2,	id.	c
id.	L_1, L,	id.	d
id.	L_2, L,	id.	d
id.	L_1, L_2,	id.	e
id.	L_1, L_2, L,	id.	f

Pour chaque état possible, examinons les cas à l'instant $t - dt$ qui peuvent lui donner lieu à l'instant t.

y étant le nombre d'appels qui se produisent pendant l'unité de temps sur l'ensemble des deux groupes, on obtient facilement les relations suivantes

$$a = a\,(1 - y\,dt\ldots) + b\,dt + 2\,c\,dt + \ldots,$$
$$b = b\,(1 - dt - y\,dt\ldots) + 2\,d\,dt\ldots,$$
$$c = c\,(1 - dt - y\,dt\ldots) + a\frac{y}{2}\,dt + d\,dt + e\,dt + \ldots,$$

$$d = d\left(1 - 2\,\mathrm{d}t - \frac{y}{2}\,\mathrm{d}t \ldots\right) + \frac{by}{2}\,\mathrm{d}t + \ldots,$$
$$e = e\,(1 - 2\,\mathrm{d}t - y\,\mathrm{d}t \ldots) + cy\,\mathrm{d}t + f\,\mathrm{d}t + \ldots,$$
$$f = f\,(1 - 3\,\mathrm{d}t \ldots) + dy\,\mathrm{d}t + ey\,\mathrm{d}t + \ldots,$$

ou en annulant, dans ces relations, les termes en d t.

$$\begin{array}{l}
ya - b - 2c = 0,\\
(1+y)b - 2d = 0,\\
ya + (2+2y)c - 2d - 2e = 0,\\
-yb - yc + (4+y)d - 2f = 0,\\
-yc + (2+y)e - f = 0,\\
-yd - ye + 3f = 0.
\end{array}$$

A ces 6 équations, qui se réduisent à 5, puisqu'on obtient une identité en les additionnant membre à membre, il faut ajouter

$$a + b + 2c + 2d + e + f = 1.$$

En résolvant, on obtient :

$$a = \frac{10y^2 + 28y + 4}{(y+2)^3(y^2+2y+3)}, \quad b = \frac{4y^3 + 6y^2}{(y+2)^3(y^2+2y+3)}.$$
$$c = \frac{3y^3 + 11y^2 + 12y}{(y+2)^3(y^2+2y+3)}, \quad d = \frac{2y^4 + 5y^3 + 3y^2}{(y+2)^3(y^2+2y+3)}.$$
$$e = \frac{y^4 + 4y^3 + 6y^2}{(y+2)^3(y^2+2y+3)}, \quad f = \frac{y^5 + 3y^4 + 3y^3}{(y+2)^3(y^2+2y+3)}.$$

Le trafic total écoulé par unité de temps sera

$$N = b + 2c + 4d + 2e + 3f$$
$$= \frac{3y^5 + 19y^4 + 47y^3 + 52y^2 + 24y}{(y+2)^3(y^2+2y+3)}.$$

Le nombre d'appels perdus par unité de temps sera

$$y - N = \frac{y^6 + 5y^5 + 8y^4 + 3y^3}{(y+2)^3(y^2+2y+3)}.$$

La proportion d'appels perdus sera :

$$\frac{y - N}{y} = \frac{y^2(y^3 + 5y^2 + 8y + 3)}{(y+2)^3(y^2+2y+3)}.$$

Le problème des lignes communes peut être ainsi traité d'une façon rigoureuse. Mais dans la pratique cette rigueur ne semble pas nécessaire et on obtiendra dans bien des cas une solution suffisamment approchée en opérant comme il suit :

Supposons que c lignes explorées méthodiquement soient communes à m groupes. On peut, en appliquant la formule (11) ci-dessus, calculer d'une façon rigoureuse le trafic qui serait écoulé en une unité de temps par chacune de ces c lignes communes et par l'ensemble de ces lignes, *si elles n'appartenaient qu'à un seul des m groupes*. Si les trafics ainsi trouvés sont faibles par rapport à $\frac{1}{m}$, on peut admettre que les lignes communes cumulent sans perte les m trafics qu'elles écouleraient pour chacun des m groupes supposé seul.

En opérant ainsi, on calcule le trafic par excès et la perte par défaut.

X. **Cas où il existe un dispositif de délai d'attente.** — Supposons maintenant qu'il y ait un dispositif de délai d'attente. Les cas possibles sont, non seulement l'occupation de 0, 1, . . ., $x - 1$, x lignes, *aucun appel n'étant en attente*, mais encore l'occupation des x lignes avec des appels en attente au nombre de 1, 2, 3...

Nous appelons P_i ($i \leq x$) la probabilité d'occupation de i lignes, aucun appel n'étant en attente, et Π_j (j pouvant varier de 1 à $+\infty$), la probabilité d'occupation des x lignes avec j appels en attente.

Les P satisfont aux équations (6) établies au paragraphe IV,

$$yP_0 = P_1, \quad yP_1 = 2\,P_2, \quad \ldots\ldots \quad yP_{x-1} = x\,P_x. \quad (6)$$

Mais l'équation (7) n'est plus exacte ; elle doit être remplacée par la suivante

$$P_0 + P_1 \ldots\ldots + P_x + \Pi_1 + \Pi_2 + \ldots\ldots = 1. \quad (15)$$

Raisonnons d'une façon analogue à celle du paragraphe IV en négligeant les événements qui peuvent se produire entre les époques $t - dt$ et t et dont la probabilité est un infiniment petit d'ordre supérieur à un en dt.

Supposons qu'à l'instant t le nombre d'appels en attente soit $j > o$. A l'instant $t - dt$, il était soit j, soit un nombre différent.

Si le nombre des appels en attente à l'instant $t - dt$ est j

(événement de probabilité Π_j), il sera encore j à l'instant t si :

ou bien il s'est produit un appel dans le groupe, événement de probabilité $y\,dt$,

ou bien un des x appels en cours s'est terminé, événement de probabilité $x\,dt$.

Si maintenant le nombre d'appels en attente à l'instant $t - dt$ est $j - 1$ (événement de probabilité Π_{j-1}), il sera j à l'instant t s'il s'est produit un appel, événement de probabilité $y\,dt$.

Si le nombre d'appels en attente à l'instant $t - dt$ est $j + 1$ (événement de probabilité Π_{j+1}), il sera j à l'instant t si un des x appels en cours s'est terminé, événement de probabilité $x\,dt$.

On a donc :

$$\Pi_j = \Pi_j\,(1 - y\,dt - x\,dt\ldots) + \Pi_{j-1}\,(y\,dt + \ldots) + \Pi_{j+1}\,(x\,dt + \ldots) + \ldots, \qquad (16)$$

les termes représentés par des points étant des infiniment petits d'ordres supérieurs à dt.

Pour $j = 0$, l'équation (16) devrait être modifiée ; en remarquant que Π_0 n'est autre que P_x, elle s'écrirait,

$$P_x = P_x\,(1 - y\,dt - x\,dt\ldots) + P_{x-1}\,(y\,dt + \ldots) + \Pi_1\,(x\,dt + \ldots) + \ldots \qquad (17)$$

Dans les équations (16) et (17), on obtient des identités en égalant les parties finies. En égalant les quantités du premier ordre en dt, on obtient les équations suivantes :

$$(y + x)\,P_x = y\,P_{x-1} + x\,\Pi_1,$$
$$(y + x)\,\Pi_1 = y\,P_x + x\,\Pi_2,$$
$$(y + x)\,\Pi_2 = y\,\Pi_1 + x\Pi_3,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$(y + x)\,\Pi_j = y\,\Pi_{j-1} + x\,\Pi_{j+1}.$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$

Mais on arrive à des équations beaucoup plus simples en remplaçant chacune de ces équations par celle que l'on déduit en l'ajoutant membre à membre à toutes celles qui la précèdent et à la dernière des équations (6), puis en simplifiant. On a ainsi

$$\left.\begin{array}{l} y\,P_x = x\,\Pi_1, \\ y\,\Pi_1 = x\,\Pi_2, \\ y\,\Pi_2 = x\,\Pi_3, \\ \dots\dots\dots\dots\dots \\ y\,\Pi_j = x\,\Pi_{j+1}. \\ \dots\dots\dots\dots\dots \end{array}\right\} \qquad (18)$$

Or on tire des équations (6)

$$P_1 = y\,P_0 \quad P_2 = \frac{y}{2}\,P_1 = \frac{y^2}{2}\,P_0 \dots P_i = \frac{y^i}{i!}\,P_0 \dots P_x = \frac{y^x}{x!}\,P_0,$$

et des équations (18)

$$\Pi_1 = \frac{y}{x}\,P_x = \frac{y}{x}\,\frac{y^x}{x!}\,P_0,$$

$$\Pi_2 = \frac{y}{x}\,\Pi_1 = \left(\frac{y}{x}\right)^2 \frac{y^x}{x!}\,P_0,$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

$$\Pi_j = \frac{y}{x}\,\Pi_{j-1} = \left(\frac{y}{x}\right)^j \frac{y^x}{x!}\,P_0,$$

$$\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots$$

et en portant dans (15)

$$P_0\left(1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2} + \dots + \frac{y^x}{x!}\right)$$

$$+ P_0\,\frac{y^x}{x!}\left[\frac{y}{x} + \left(\frac{y}{x}\right)^2 + \dots + \left(\frac{y}{x}\right)^j + \dots\right] = 1.$$

Faisons maintenant l'hypothèse $y < x$. — La progression géométrique qui est le coefficient de $P_0\,\frac{y^x}{x!}$ dans l'équation précédente est alors une série convergente qui a pour somme

$$\frac{\frac{y}{x}}{1 - \frac{y}{x}} = \frac{y}{x - y}.$$

On a, par conséquent,

$$P_0\left[1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2!} + \dots + \frac{y^{x-1}}{(x-1)!} + \frac{y^x\,x}{x!\,(x-y)}\right] = 1.$$

et, en appelant, pour abréger, Δ le coefficient de P_0 dans le premier membre de cette équation

$$\left. \begin{array}{l} P_0 = \frac{1}{\Delta}, \ P_1 = \frac{y}{\Delta}, \ P_2 = \frac{y^2}{2!\,\Delta} \ldots \ P_x = \frac{y^x}{x!\,\Delta}, \\ \Pi_1 = \frac{y}{x}\,\frac{y^x}{x!\,\Delta} \ldots \ \Pi_j = \left(\frac{y}{x}\right)^j \frac{y^x}{x!\,\Delta} \ldots \end{array} \right\} \qquad (19)$$

Ce sont les formules trouvées par Erlang.

On a l'identité

$$P_1 + 2\,P_2 + \ldots + x\,(P_x + \Pi_1 + \Pi_2 + \ldots) = y,$$

qui exprime tout simplement que le trafic total écoulé par unité de temps est y.

Ici encore, on peut calculer le trafic écoulé par chaque ligne dans le cas où l'on suppose que les x lignes sont numérotées de 1 à x et explorées méthodiquement, de façon qu'une communication qui se présente soit écoulée sur la ligne 1 si celle-ci est libre, sur la ligne 2 si la ligne 1 est occupée, sur la ligne 3 si 1 et 2 sont simultanément occupées, et ainsi de suite.

Pour cela, remarquons qu'il y a des appels en attente pendant une fraction du temps égale à

$$\Pi_1 + \Pi_2 + \ldots = \frac{y^{x+1}}{x!\,(x-y)\,\Delta}.$$

Pendant cette fraction du temps, où les x lignes travaillent sans repos, le trafic écoulé par chaque ligne est

$$\frac{y^{x+1}}{x!\,(x-y)\,\Delta}, \qquad (20)$$

et le trafic écoulé sur l'ensemble des x lignes

$$\frac{y^{x+1}}{(x-1)!\,(x-y)\,\Delta}.$$

Pendant le reste du temps, alors qu'il n'y a pas d'appels en attente, les x lignes se répartissent le trafic restant, qui est

$$\begin{aligned} y' &= P_1 + 2\,P_2 + \ldots + x\,P_x \\ &= \frac{y}{\Delta}\left[1 + \frac{y}{1} + \frac{y^2}{2!} + \ldots + \frac{y^{x+1}}{(x-1)!}\right]. \end{aligned} \qquad (21)$$

Un peu d'attention suffit pour reconnaître que ce trafic y' est réparti entre les x lignes *dans la proportion* des trafics qu'écou-

lerait respectivement chacune de ces lignes s'il n'y avait pas de dispositif d'attente, *le nombre d'appels par unité de temps étant* y (et non y').

En d'autres termes, pendant les instants où il n'y a pas d'appels en attente et par unité de temps, la ligne d'ordre i écoule un trafic égale à

$$y' \frac{N_i}{N}, \tag{22}$$

y', N_i et N donnés étant respectivement par les expressions (21), (11) et (9).

Le trafic total écoulé par la i^{eme} ligne s'obtient en faisant la somme des quantités (20) et (22), ce qui donne

$$\frac{y^{x+1}}{x!\,(x-y)\,\Delta} + y' \frac{N_i}{N}. \tag{23}$$

XI. **Probabilité pour qu'un appel ait une durée d'attente supérieure à une quantité donnée.** — Il est maintenant très facile de calculer la probabilité pour qu'un appel ait une durée d'attente supérieure à une quantité donnée t, en supposant, pour préciser, que les appels différés sont écoulés dans l'ordre où ils ont été reçus.

Un appel A quelconque a une probabilité Π_j de se produire au moment ou j appels sont déjà en instance.

A sera servi quand j fins de conservations se seront produites depuis le début de A. La durée d'attente de A sera alors supérieure à t si, dans l'intervalle de temps t, le nombre de fins de conversations est inférieur à j. Comme il y a une probabilité $x dt$ pour qu'il se produise *une* fin de conversation dans la durée dt, la formule de Poisson donne, pour la probabilité d'une attente supérieure à t, *lorsque j appels sont en instance*,

$$\overline{F(j,t)} = e^{-xt} \sum_{n=0}^{n=j} \frac{(xt)^n}{n!}.$$

La probabilité d'une attente supérieure à t est donc

$$A(t) = \sum_{j=0}^{j=\infty} \Pi_j \, F(j,t)$$

$$A(t) = \frac{y^x}{x!\,\Delta}\, e^{-xt} \sum_{j=0}^{j=\infty} \left(\frac{y}{x}\right)^j \sum_{n=0}^{n=j} \frac{(xt)^n}{n!}$$

$$= \frac{y^x e^{-xt}}{x!\,\Delta} \sum_{n=0}^{n=\infty} \frac{(xt)^n}{n!} \sum_{j=n}^{j=\infty} \left(\frac{y}{x}\right)^n$$

$$= \frac{y^x e^{-xt}}{x!\,\Delta} \sum_{n=0}^{n=\infty} \frac{(yt)^n}{n!}\, \frac{x}{x-y}$$

$$= \frac{y^x e^{-xt}}{x!\,\Delta}\, e^{yt}\, \frac{x}{x-y},$$

et finalement

$$A(t) = \frac{y^x e^{-(x-y)t}}{(x-1)!\,(x-y)\,\Delta}. \qquad (24)$$

Cette formule, donnée par Erlang, suppose essentiellement $y < x$. Bien entendu, on peut, à titre de vérification, constater que, pour $t = 0$, elle donne identiquement

$$A(0) = P_x + \sum_{j=0}^{j=\infty} \Pi_j.$$

La durée moyenne d'attente sera

$$t_{mA} = -\int_0^{\infty} t\, \frac{dA(t)}{dt}\, dt = \int_0^{\infty} A(t)\, dt.$$

ou

$$t_{mA} = \frac{y^x}{(x-1)!\,(x-y)^2\,\Delta}. \qquad (25)$$

Si les appels différés n'étaient pas écoulés dans l'ordre où ils ont été reçus, la formule (25) resterait rigoureusement exacte, mais non la formule (24).

Pour le problème des lignes communes avec dispositif de délai d'attente, on peut obtenir dans bien des cas une solution suffisamment approchée en opérant comme il suit :

Supposons que c lignes explorées méthodiquement soient communes à m groupes. On peut, en appliquant la formule (23) ci-dessus, calculer le trafic qui serait écoulé en une unité de temps

pour chacune de ces c lignes communes et par l'ensemble de ces lignes, *si elles n'appartenaient qu'à un seul des m groupes*. Si les trafics ainsi trouvés sont faibles par rapport à $\frac{1}{m}$, on peut admettre que les lignes communes cumulent les m trafics qu'elles écouleraient pour chacun des m groupes supposé seul, et que les attentes sont les mêmes que si chaque groupe disposait pour lui seul des c lignes communes.

En opérant ainsi, les durées d'attente sont calculées par défaut.

XII. **Remarque**. — Les calculs des paragraphes précédents supposent que la durée des appels varie de la manière indiquée au paragraphe III.

Il reste à examiner comment ces résultats doivent être modifiés quand les durées d'appels ne répondent plus à cette loi et sont, par exemple, égales.

INFLUENCE EXERCÉE SUR LES LIGNES DE COMMUNICATION

PAR LES INSTALLATIONS A HAUTE TENSION (1)

Par le Dr JÄGER, Berlin.

Etant donné que l'énergie transmise par les lignes de communication est très faible par rapport à celle qui est transmise par les lignes à haute tension, et que le corps humain est sensible aux effets du courant électrique, il suffit qu'il existe entre les unes et les autres un certain couplage, même faible, pour que les premières soient sujettes à des troubles sérieux et pour que la vie humaine soit mise en danger.

L'auteur étudie les différentes sortes de couplage (couplage par capacité, couplage inductif, couplage par dérivation ou couplage galvanique), dans le cas d'installations monophasées (voies électrifiées), triphasées, et dans le cas de redresseurs de grande puissance, ainsi que l'importance et l'effet de ces couplages sur les lignes de communication, en ce qui concerne l'onde fondamentale aussi bien que les harmoniques. Il traite en détail les perturbations de même nature causées sur les circuits de communication par les installations monophasées et triphasées.

Puis l'auteur envisage la valeur des mesures protectrices appliquées, pour éviter les perturbations et les accidents de personnes, suivant qu'elles sont appliquées aux lignes de communication ou aux lignes à haute tension.

Enfin il montre les perturbations constatées sur une installation de distribution d'électricité, et causées par des lignes à haute tension.

L'objet de la présente étude est le rapport électrique qui lie entre elles deux catégories différentes d'installations de transport d'énergie, dont l'une (les lignes de communication) est presque aussi ancienne que la connaissance des phénomènes élec-

(1) *Elektrotechnische Zeitschrift*, 1er mai 1924.

triques, et dont l'autre (les lignes à haute tension) n'a pris une importance pratique que depuis quelques années seulement. Ces deux catégories de lignes de transport d'énergie sont, à l'heure actuelle, un facteur important du progrès scientifique et économique ; ayant un besoin impérieux des unes et des autres, nous devons tout faire pour assurer leur bon fonctionnement. Prises à part, et grâce aux progrès réalisés dans leur équipement, les lignes de communication fonctionnent dans d'excellentes conditions ; mais des difficultés surgissent lorsqu'elles sont établies au voisinage de lignes à haute tension. Les réseaux de communication et les réseaux électriques se développent aujourd'hui si rapidement qu'il n'est pas possible d'éviter toujours les parallélismes entre eux. L'énergie utilisée sur les lignes de communication (1 milliwatt, et même moins, sur les lignes téléphoniques ; quelques watts sur les lignes télégraphiques) est si faible par rapport à celle qui est transmise sur les lignes à haute tension (énergie pouvant atteindre des milliers de kilowatts), qu'il est évident que, même pour un faible couplage entre lignes de natures différentes, il doit se produire des transferts d'énergie dans le sens de la ligne à haute tension à la ligne de communication ; le fonctionnement de cette dernière sera gêné ou même rendu impossible, et il arrivera que la vie des usagers du téléphone sera parfois mise en danger. A ce dernier point de vue, l'extrême sensibilité du corps humain constitue un sérieux inconvénient. Une énergie d'un centième de watt, reçue pendant quelques secondes dans un écouteur téléphonique, peut suffire pour causer des troubles nerveux, par suite des chocs acoustiques qu'elle produit, et, dans certaines conditions défavorables, une énergie de quelques watts par seconde traversant le corps humain peut provoquer la mort.

Nous nous proposons d'étudier ici les divers cas d'influence exercée sur les lignes de communication par les lignes à haute tension, et de distinguer ces cas suivant qu'il s'agit de couplages par capacité, de couplages inductifs et de couplages par dérivations ou galvaniques. Étant donné l'importance du sujet, nous ne pourrons donner ici qu'un résumé de l'étude de ces phéno-

mènes et des méthodes qu'on a imaginées en vue d'y remédier. Comme les perturbations causées par les lignes triphasées sont, par nature, analogues à celles qui sont dues aux lignes monophasées, nous traiterons à fond l'étude de ces dernières.

A. COUPLAGE ÉLECTRIQUE.
(*Influence électrostatique.*)

I. Installations a courant monophasé.
(*Voies électrifiées en courant alternatif.*)

a) **Capacité mutuelle. Tension et courant de charge.** — La figure 1 montre que le conducteur 1 de la ligne à haute tension et le conducteur 2 de la ligne de communication sont couplés par la capacité mutuelle C_{12} ; les lignes de force du champ électrique partent de 1 et tombent perpendiculairement sur 2. Il est facile de calculer théoriquement la valeur de C_{12} (1) ; la formule approchée de Lienemann donne dans le cas général :

$$C_{12} = 1{,}5 \frac{bc}{a^2 + b^2 + c^2} \times 10^{-9} \text{ farads par kilomètre.}$$

Le conducteur 1 est soumis à une tension de régime E (tension appliquée au fil de contact), laquelle charge d'un potentiel V le conducteur isolé 2, dont la capacité par rapport à la terre est C_{20}. De la formule :

$$\frac{E}{\frac{1}{\omega C_{12}} + \frac{1}{\omega C_{20}}} = \frac{V}{\frac{1}{\omega C_{20}}},$$

on tire :

$$V = E \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{20}}.$$

Fig. 1.

Pratiquement, C_{12} est petit par rapport à C_{20} ($\sim 6 \times 10^{-9}$ F/km) ; en le supprimant au dénominateur, il vient :

$$V = E \frac{C_{12}}{C_{20}}. \qquad (1)$$

(1) Breisig, *Theoretische Telegraphie* : pages 62, 66, 273.

Donc la tension de charge est indépendante de la fréquence et de la longueur du parallélisme. Mais nous ne pouvons déduire V de l'influence électrostatique seule ; nous devons aussi tenir compte du courant de charge. Mais, comme les lignes téléphoniques aériennes sont munies de dispositifs protecteurs contre les surtensions (parafoudres à vide, qui, dans leur forme actuelle, réagissent sous 300 volts environ), la connaissance de V nous permet de dire si les charges s'égaliseront à travers les dispositifs de protection et, par suite, si des craquements dans les téléphones sont à craindre.

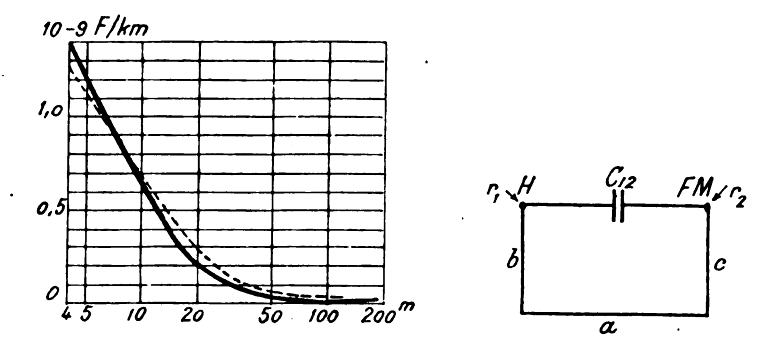


Fig. 2. — Capacité mutuelle en 10^{-9} F/km de deux lignes à un seul conducteur. a = distance des lignes (en mètres). Les courbes ont été établies avec les données suivantes : $c = b = 6^m,5$; $r_1 = 53^{mm}$ (conducteur remplaçant le fil de contact et la suspension caténaire d'un chemin de fer électrique) ; $r_2 = 2^{mm}$. La courbe en pointillé a été tracée d'après les valeurs obtenues en appliquant la formule approchée :

$$C_{12} = 3 \frac{b\,c}{a^2 + b^2 + c^2} 10^{-9} \text{ F/km.}$$

Dans le cas de lignes de traction (chemin de fer à courant alternatif), la capacité mutuelle est augmentée par les fils de suspension caténaire. La figure 2 montre comment C_{12} varie suivant l'espacement des lignes, compte tenu des fils de suspension. La courbe tracée d'après les valeurs mesurées exactement concorde assez bien avec celle qu'on a tracée d'après les valeurs obtenues en appliquant la formule approchée :

$$C_{12} = 3 \frac{b\,c}{a^2 + b^2 + c^2} \cdot 10^{-9} \text{ F/km.} \qquad (2)$$

On constate que C_{12} décroît rapidement lorsque l'espacement des lignes augmente. Pour a = 10 mètres, on obtient :

$$C_{12} = 6.10^{-10} \text{ F/km},$$

et :

$$V = \frac{E}{10},$$

c'est-à-dire que, si la tension du fil de contact est égale à 16.000 volts, la tension de charge sur la ligne de communication est de 1.600 volts.

Pratiquement, le courant de charge $J = \frac{dQ}{dt} = \frac{d\,(CE)}{dt}$ ne varie pas, que le conducteur 2 soit isolé ou à la terre ; c'est parce que la résistance qui compte $\left(\frac{1}{\omega\, C_{12}}\right)$ est beaucoup plus élevée que $\frac{1}{\omega\, C_{20}}$.

Par suite,

$$J = l\, C_{12} \frac{dE}{dt},$$

ou, en valeurs réelles :

$$J = E\, \omega\, l\, C_{12} \qquad (3)$$

J est donc fonction de la fréquence et de la longueur du parallélisme. Pour un espacement de 10 mètres entre les lignes, on obtient, pour un courant alternatif de traction de 16,75 pér./sec. ($\omega = 105$), un courant de charge de : $16.000 \times 105 \times 6 \times 10^{-10} = 1^{mA} \backsim$ par kilomètre. Il n'est donc pas surprenant que, lors des mesures effectuées sur la ligne électrifiée Dessau-Bitterfeld, longue de 22 kilomètres environ, on ait trouvé, sur une ligne de communication posée le long des voies, pour 10^{KV} et 15 pér./sec., des courants de charge atteignant parfois 17 milliampères (1). Si quelqu'un venait à toucher les fils isolés, ce courant de charge passerait en totalité à travers son corps (quelle que soit d'ailleurs sa résistance), et pourrait produire des effets très désagréables. C'est ainsi qu'on a constaté qu'un ouvrier des lignes

(1) Pour plus amples renseignements, voy. O. Brauns, *Archiv für Post und Telegraphie*, 1914, n° 2.

téléphoniques ne pouvait plus travailler lorsqu'elles étaient soumises à un courant de charge de $2^{mA},7$; une autre fois, avec un courant de 10^{mA}, il se produisait des troubles nerveux, et l'intéressé se déclarait incapable de lâcher, sans secours étranger, le fil qu'il avait en mains.

Dans le cas d'une ligne de communication à un seul fil, ce courant de charge s'écoule d'autant mieux à la terre que la résis-

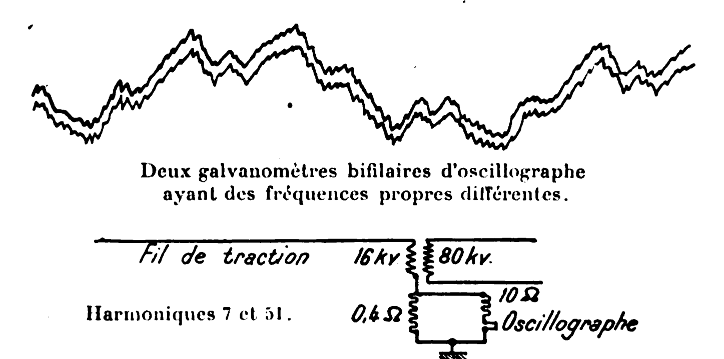


Fig. 3. — Harmoniques constatés sur le fil de contact (fonctionnant à vide) du chemin de fer électrique Hirschberg-Mühlseiffen (∾ ; 30 km).

tance des postes extrêmes est plus faible ; de mesures faites sur le fil qui suit la voie électrifiée Dessau-Bitterfeld (les appareils extrêmes ayant même résistance et le courant de charge étant de l'ordre de 8^{mA}), il résulte qu'en télégraphie le courant perturbateur peut représenter au maximum de 10 à 20 °/₀ du courant de régime, suivant la nature de l'exploitation. Par suite, il ne fallait pas songer à laisser en place les lignes de communication parallèles à la section de voie électrique en question.

La grandeur ω figurant dans la formule de J, il s'ensuit que les harmoniques de l'onde de tension électrique E sont transmis à la ligne de communication beaucoup plus fortement que le fondamental (et cela d'autant mieux que leur fréquence est plus élevée) et sont une cause de gêne pour le service téléphonique ; il existe une quantité de ces harmoniques dans le cas d'une voie ferrée électrique. Tout d'abord, c'était surtout les génératrices qu'il fallait incriminer, du fait que les dents d'induit étaient à

section rectangulaire. C'est ainsi qu'à Bâle, dans l'usine génératrice du chemin de fer badois de la vallée de Wiesen, on a constaté qu'une dynamo produisait, à 15 pér./sec., l'harmonique 35 particulièrement gênant ($f = 525$, $\omega = 3300$). En outre, pour une certaine longueur du fil de contact, il se produisait un phénomène de résonance sur l'harmonique 35, si bien qu'il s'établissait un courant perturbateur de l'ordre de 40 ampères, qui gênait beaucoup le trafic téléphonique, même sur des circuits très éloignés de la voie ferrée.

Aujourd'hui, les génératrices ont été heureusement modifiées ; cependant les moteurs montés sur les locomotives laissent encore à désirer à ce point de vue, parce qu'on ne leur a pas toujours appliqué les perfectionnements connus, tendant à la suppression des harmoniques de denture (rainures obliques, remplissage des encoches, encoches étroites, biseautage des bords des encoches, pièces polaires correctes, enroulements amortisseurs, décalage et dissymétrie des encoches du rotor par rapport à celles du stator, augmentation du nombre des encoches afin que les harmoniques soient en dehors de la zone d'audibilité, suppression des harmoniques dus aux lames des collecteurs, etc...).

Les harmoniques de denture réagissent sur le réseau et influent sur la courbe de tension. La figure 3 représente un cliché relatif au courant de charge circulant dans le fil de contact même (marche à vide) ; les harmoniques 7 et 51 sont parfaitement visibles ; ce dernier ressort encore mieux grâce à l'emploi d'un dispositif de résonance. Les variations d'amplitude visibles sur le cliché peuvent s'expliquer par le fait que le flux de force, dans les encoches d'une bobine, augmente ou diminue suivant la position du pôle. Les courants de charge qui affectent les lignes aériennes de communication voisines ont l'allure indiquée par les oscillogrammes.

b) **Mesures de protection.** — Les objets voisins des lignes de communication ou des installations à haute tension jouent le rôle d'écran par rapport au champ électrique lorsqu'ils sont mis plus ou moins parfaitement à la terre ; on peut estimer à 20 ou

30 % la réduction ainsi produite par les rangées d'arbres entourés de clôtures métalliques, par les lignes (mises à la terre) faisant partie d'une nappe de fils, par le conducteur de terre des lignes à haute tension, etc...

Pour soustraire le plus possible les lignes de communication à l'influence des lignes à haute tension, on a mis à l'essai divers procédés, notamment les suivants :

1° On a posé, à côté du fil de contact, un fil de contre-tension, dont la tension propre a une amplitude sensiblement du même ordre de grandeur que celle de la tension du fil de contact, mais a une phase décalée de 180°. Les expériences ont eu lieu sur la section Dessau-Bitterfeld ; on a constaté une diminution de 7 % du courant de charge initial, lorsque la tension du fil protecteur de contre-tension était égale à celle du fil de contact (15.000 volts). Pour avoir un courant de charge nul sur l'ensemble des treize lignes de communication voisines de la voie ferrée, la contre-tension devait être portée à 16.850 volts. Quoique alors le courant de charge, mesuré sur la ligne de communication la moins bien protégée, atteignît encore $1^{mA},5$, on a constaté que le trafic télégraphique s'y écoulait d'une façon normale.

Ce procédé n'est guère appliquable d'une manière générale, en raison de la nouvelle complication qu'il introduit dans la construction des lignes à haute tension. La sécurité qu'il offre n'est d'ailleurs que relative ; en cas de rupture du fil protecteur de contre-tension, surtout lorsqu'on ne le répare pas immédiatement, tout trafic devient impossible sur les lignes téléphoniques voisines ; de plus, les importantes lignes de signaux du service des chemins de fer deviennent inutilisables, et il en résulte des inconvénients sérieux.

A l'étranger, on a appliqué ce système sous forme d'un réseau à trois conducteurs avec charge d'énergie dans les deux sens ; nous revenons plus loin sur ce sujet.

2° Sur la section de voie électrifiée déjà citée, on a entouré les lignes de communication d'un écran protecteur mis à la terre et disposé comme le montre la figure 4. Sur les lignes ainsi protégées, le courant de charge diminuait d'un tiers environ ; on voit que l'amélioration était insuffisante.

3° *Bobines de drainage* (1). — Ces bobines de drainage ont pour but de protéger les appareils de signalisation (télégraphe ou téléphone) en écoulant les charges perturbatrices statiques à la terre. Dans le cas de lignes télégraphiques, elles sont accordées sur l'onde fondamentale ; le condensateur du circuit résonant accordé arrête en même temps le courant continu employé en télégraphie. Dans le cas de lignes téléphoniques (bifilaires) non appropriées à la télégraphie, il suffit d'une bobine d'induc-

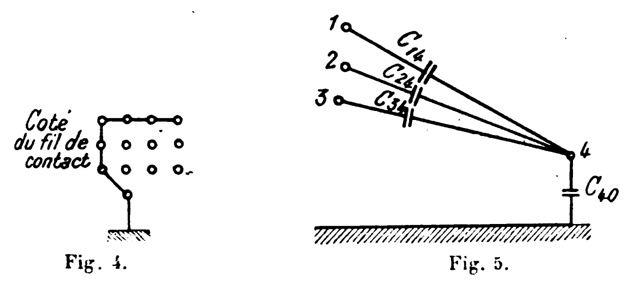


Fig. 4. Fig. 5.

tance à contact réglable (sorte de potentiomètre inductif mis à la terre au point milieu) montée entre les deux fils téléphoniques ; elle ne laisse pas passer les courants téléphoniques de moyenne fréquence, mais n'offre qu'une résistance ohmique négligeable pour le courant de charge qui parcourt les enroulements en sens contraires.

Ces dispositifs conduisent bien à la terre les courants de charge, mais ils sont une gêne pour l'exploitation, car, dans le cas des shunts résonants, la capacité du condensateur du circuit résonant accordé déforme les courants télégraphiques au point qu'il faut renoncer à la télégraphie rapide ; en outre, le fait que la bobine de drainage est à la terre en un de ses points, cause des dissymétries constantes sur la ligne téléphonique à deux conducteurs, ce qui se traduit par des bruits dans les écouteurs, en raison des harmoniques inévitables. Il faut dans ce cas renoncer parfois à se servir du circuit combiné ou fantôme.

4° *Éloignement des lignes de communication des emprises de la voie ferrée.* — C'est ce procédé qu'applique l'administration

(1) Voy. *Telegraphen- und Fernsprechtechnik* : 1920, p. 159.

allemande des télégraphes. Un éloignement de 60 mètres paraît suffisant en ce qui concerne les troubles électrostatiques (par effet de capacité). En Suède, on exige 100 mètres. Nous estimons qu'une distance de 60 mètres suffit, même en tenant compte de la répartition de l'énergie sur les nappes importantes de fils. Aux points de croisement, nous avons pour habitude de poser en câble les lignes de communication, bien entendu lorsqu'il ne s'agit pas de lignes exploitées en haute fréquence.

5° *Mise en câble des lignes de communication.* — C'est le procédé qui procure la protection électrostatique la plus parfaite. L'administration des chemins de fer allemands recourt à cette méthode sur les sections électrifiées de son réseau exploitées en courant alternatif. Elle a ainsi le double avantage d'obtenir un service de communications absolument sûr et de protéger les lignes télégraphiques et téléphoniques contre les perturbations dues aux installations à haute tension.

6° Lorsqu'on est absolument forcé de poser les lignes de communication le long de la voie ferrée, il faut prendre des mesures pour remédier aux bruits parasites, c'est-à-dire effectuer des rotations conformément à l'instruction spéciale sur les troubles par induction, élaborée par l'administration allemande des télégraphes et employer des dispositifs de drainage sur les lignes et dans les bureaux, mais surtout des paratonnerres contre les surtensions.

II. Installations a courants triphasés,
(*Réseaux de distribution électrique à longue distance.*)

a) **Cas général** : *Les trois phases sont disposées en triangle ou sur le même plan et possèdent, par conséquent, des capacités mutuelles différentes, par rapport à la ligne de communication* (voy. fig. 5). — On sait que les tensions simples $\mathcal{E}_1$, $\mathcal{E}_2$, $\mathcal{E}_3$ sont du même ordre de grandeur dans les trois conducteurs ; mais elles sont décalées de 120° l'une par rapport à l'autre. En appliquant la formule relative à la tension de charge en courant monophasé

$$V = E \frac{C_{12}}{C_{20}},$$

on a, dans le cas du courant triphasé :

$$V = \mathcal{E}_1 \frac{C_{14}}{C_{40}} + \mathcal{E}_2 \frac{C_{24}}{C_{40}} + \mathcal{E}_3 \frac{C_{34}}{C_{40}},$$

ou : $$V = \frac{1}{C_{40}} (\mathcal{E}_1 C_{14} + \mathcal{E}_2 C_{24} + \mathcal{E}_3 C_{34}) \quad (4)$$

Cette tension résiduelle est sans importance au point de vue de l'onde fondamentale ; mais en ce qui concerne les harmoniques, elle peut gêner le service téléphonique, et l'on doit s'efforcer d'y remédier (voy. plus loin).

En raisonnant comme dans le cas du courant continu, on peut exprimer le courant de charge résiduel sur la ligne de communication 4 par la formule :

$$J = \omega l (\mathcal{E}_1 C_{14} + \mathcal{E}_2 C_{24} + \mathcal{E}_3 C_{34}) \quad (5)$$

L'expression entre parenthèses, et par suite V ou J, deviennent nuls quand on a :

$$C_{14} = C_{24} = C_{34}$$

et

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_3.$$

On peut réaliser la première condition en permutant convenablement, dans la section de parallélisme, les fils à haute tension par rapport aux lignes de communication ; en service normal, on peut se rapprocher suffisamment de la seconde condition en chargeant également les trois phases de la ligne électrique ; lorsqu'il s'agit de lignes à haute tension très étendues, sur lesquelles il peut se produire des différences appréciables de tension par rapport à la terre par suite des différences de capacité des trois phases (par rapport à la terre) dans les sections non transposées, il est nécessaire d'effectuer des rotations sur toute la longueur de la ligne à haute tension et non pas seulement sur la section de parallélisme.

D'après l'expérience acquise, on doit redouter des perturbations du service téléphonique lorsque le courant étranger attei-

gnant les récepteurs (fréquence moyenne correspondant à $\omega = 5.000$) est de 5×10^{-6} ampères environ. Pour trouver une base qui puisse servir aux calculs, on peut admettre que l'ensemble des harmoniques (qui figurent sur la courbe de tension) correspond, au point de vue de l'effet perturbateur, à un harmonique de pulsation $\omega = 5.000$ ayant une amplitude de tension égale à 5 % de l'onde fondamentale. Les mesures à prendre pour se protéger contre les perturbations sont exposées en détail dans l'article intitulé : *Leitsätzen zum Schutze von Fernmeldeleitungen gegen die Beeinflussung durch Drehstromleitungen* (*E. T. Z.* : 1923, p. 468).

De même que l'onde fondamentale, les harmoniques, sauf les ternaires (harmoniques 3 et multiples de 3), sont décalés en phase de 120° l'un par rapport à l'autre sur les trois fils d'énergie. Par suite, les trois vecteurs de tension des harmoniques d'ordre $2k + 1$ satisfont aux relations :

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}(2k + 1) \sin (2k + 1) \omega t,$$
$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}(2k + 1) \sin (2k + 1) (\omega t + 2/3\, \pi),$$
$$\mathcal{E}_3 = \mathcal{E}(2k + 1) \sin (2k + 1) (\omega t + 4/3\, \pi).$$

Il en résulte que les harmoniques 3 (ou multiples de 3), dans tous les conducteurs à haute tension, sont toujours en phase. Les transpositions des trois fils d'énergie ne peuvent rien changer à cela, et seules sont efficaces à ce point de vue les rotations des circuits de communication. Mais cette dernière mesure ne constitue pas un remède d'efficacité certaine, parce qu'il est presque impossible de rendre symétriques les lignes de communication aériennes, qui sont le plus souvent posées le long de routes plantées d'arbres. Dans l'impossibilité d'arriver à compenser l'effet perturbateur des harmoniques ternaires, une bonne mesure préventive consiste à mettre à la terre le point neutre des réseaux triphasés montés en étoile, et à prévoir, dans le cas du montage en triangle, un troisième enroulement dans lequel se dissipe localement l'énergie due à l'harmonique 3.

Par lignes de communication, il faut également entendre les installations de T. S. F.. Or les postes de réception radioélec-

triques ne sont nullement protégés, par leur construction même, contre les troubles causés par les lignes à haute tension. On sait combien la réception est difficile à bord des avions, du fait que l'allumage des moteurs donne naissance à des ondes parasites de grande fréquence. Les essais effectués sur la voie électrifiée Lauchhammer-Riesa (1) (110^{KV}) ont permis de constater, sur les lignes de communication voisines, des phénomènes oscillatoires dus aux effluves émanant des fils à haute tension ; il est possible que, sous l'influence de ces effluves, les lignes de communication entrent en oscillation. On peut donc s'attendre à ce que les installations radiotélégraphiques pour ondes courtes aient plus spécialement à souffrir du voisinage des lignes à haute tension.

Il paraît nécessaire d'étudier ces questions de plus près, puisque les résultats d'expériences faites sur ondes courtes à l'étranger prouvent que ce système présente une grande importance pour l'avenir des communications sans fil, notamment pour la radiotéléphonie.

b) **Terres accidentelles**. — En cas de mise accidentelle à la terre de l'une des phases, la tension tombe brusquement au point défectueux, en général au sommet de la courbe de tension. On peut se représenter le phénomène comme un effet de déséquilibrage électrique, en ce sens que, à la tension primitive, se superpose une onde de tension à front raide, de même hauteur mais de signe contraire, qui alors, comme onde à front raide, circule par le fil de phase considérée et la terre, et revient avec une amplitude (ou hauteur de front) double, après réflexions suivant le cas. Les réflexions peuvent se répéter plusieurs fois consécutivement, et leur effet se trouve accru. Cette onde vagabonde, qui, en pareil cas, circule pour ainsi dire sur un système monophasé, produit dans les lignes de communication voisines une forte tension de charge, d'après ce que nous avons dit plus haut à propos des installations à courant monophasé avec retour par le sol. Si cette tension atteint 300 volts au point maximum de sa courbe, les

(1) *Telegr. u. Fernsprechtechnik* : 1920, page 154 III.

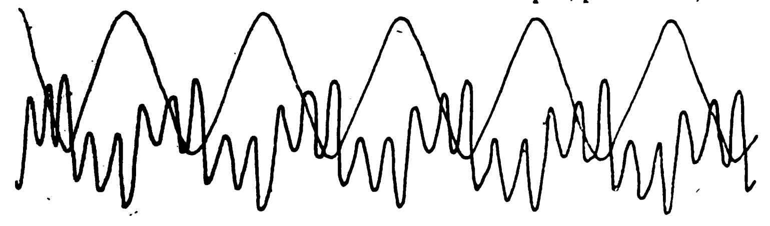


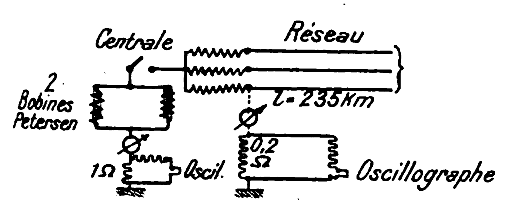
paratonnerres fonctionnent, mais malheureusement il est très rare qu'ils le fassent en même temps sur les deux fils d'un même circuit téléphonique. Il en résulte, pour une énergie minimum d'un centième de watt, la production de craquements dangereux (chocs acoustiques) dans le téléphone si, par exemple, la charge circulant sur le fil *b* traverse le récepteur pour atteindre le coupe-circuit paratonnerre du fil *a* lorsque ce coupe-circuit a déjà fonctionné. Malgré les tentatives nombreuses des constructeurs, ceux-ci ne sont pas encore arrivés à construire des parafoudres tels que l'écoulement des surtensions vers la terre se fasse simultanément et de la même manière à travers les dispositifs de protection montés sur les deux fils d'un même circuit téléphonique. Les accidents de service dus aux décharges dans les écouteurs téléphoniques sont loin d'être insignifiants. A ce point de vue, il faut considérer non seulement les effets dus directement aux terres accidentelles des lignes d'énergie triphasées, mais surtout les mesures préventives prises dans les installations à haute tension pour limiter ces inconvénients. Il se produit alors, sur chaque phase, des phénomènes comparables à ceux que l'on constate lors de la mise accidentelle à la terre de l'un des conducteurs à haute tension, avec cette aggravation que les phases indemnes conduisent à la terre le gros de la tension.

Pour remédier aux craquements dans les récepteurs téléphoniques, l'administration allemande des télégraphes a procédé à de nombreux essais avec des parafoudres à gaz rare montés en parallèle avec les écouteurs, entre les deux fils d'un même circuit téléphonique. Ces appareils, dont l'ampoule est emplie d'argon à la pression de 5 millimètres de mercure, ont leurs électrodes recouvertes d'un amalgame de potassium ; ils fonctionnent à partir de 150 volts et conduisent les surtensions vers la terre à travers les autres organes normaux de protection. Mais les parafoudres à gaz rare ne fonctionnent pas lorsque les chocs acoustiques sont dus à des troubles par induction, c'est-à-dire à des courants perturbateurs d'allure sinusoïdale. Les cohéreurs ont été reconnus supérieurs en pareil cas, malgré qu'ils ne soient pas toujours absolument sûrs ; ces dispositifs sont montés en déri-

vation sur les écouteurs, entre les deux conducteurs d'un même circuit, et fonctionnent pour des surtensions d'un ordre peu élevé. Mais ceci se change facilement en inconvénient, parce qu'ils ne peuvent être maintenus en permanence sur les circuits téléphoniques : ils constitueraient un court-circuit pour les courants d'appel.

Récemment, on a essayé de remédier aux chocs acoustiques en modifiant la construction des écouteurs sans que, pour cela, l'au-





En haut : courant dans les deux bobines Petersen (23^{A},8).
En bas : courant résiduel au point de mise à la terre : l'harmonique 5 est prépondérant (de 6^{A} à 6^{A},5).

Fig. 6. — Terre accidentelle sur une installation de centrale électrique comprenant des bobines Petersen.

dition perde de sa netteté. A ce point de vue, le petit écouteur Siemens et Halske, qui s'introduit dans le conduit auditif, a donné d'excellents résultats.

En outre, on procède actuellement à des expériences, en vue de s'assurer si, sans inconvénient pour le service et pour les installations, on peut porter de 300 à 1.000 volts le point critique de fonctionnement des parafoudres à vide. Par ce moyen, on espère pouvoir réduire le nombre des cas où ces appareils fonctionnent et l'importance des bruits parasites.

D'ailleurs il sera toujours du devoir des propriétaires des lignes à haute tension de construire celles-ci de telle manière que les risques de terres accidentelles ne soient pas à redouter : emploi de bons isolateurs ayant une résistance disruptive très élevée, et construction plus soignée des lignes. A ce point de

vue, nombre d'installations déjà anciennes laissent à désirer et sont la source de fréquentes perturbations à la suite de la rupture des fils à haute tension. Dans la construction des lignes nouvelles, on exige que les conducteurs à haute tension soient posés assez loin des lignes de communication pour que celles-ci n'aient pas à souffrir des transferts d'énergie causant des chocs acoustiques dans les récepteurs téléphoniques.

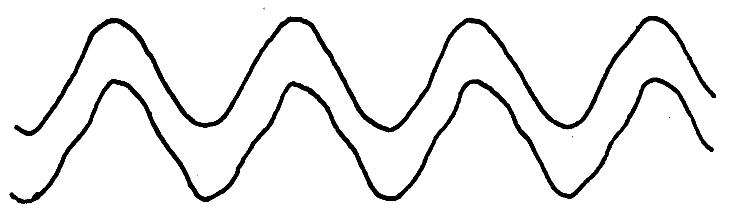


Fig. 7. — Terre accidentelle sur une installation de centrale électrique comprenant des bobines Petersen.

En haut : Tension des phases (25^{kV}) (tension de la phase en dérangement : 10^{kV}).

En bas : Courant de mise à la terre, à travers 2.000 ohms avec bobines Petersen ($1^{A},5$).

D'aucuns ont prétendu que les bobines Petersen, ou autres dispositifs appelés à jouer le même rôle, constituent un remède aux inconvénients que présentent les décharges dans les téléphones. Il n'en est rien, car ni les uns ni les autres ne peuvent s'opposer à la production d'ondes vagabondes. Des expériences, faites à une usine électrique de Thuringe, ont confirmé le fait. D'accord avec la théorie, la bobine Petersen compense l'onde fondamentale du courant entre le neutre et la terre, empêche la production ou la reproduction d'une décharge lumineuse ; elle diminue donc les risques de dommages plus accentués, comme ceux qui résultent parfois de terres accidentelles non plus en un seul point, mais en deux points (double mise accidentelle à la terre). Elle est donc avantageuse au point de vue des lignes de communication. Dans le cas de l'usine de Thuringe, pour une tension de 30 kilovolts et une longueur de réseau de 235 kilomètres, le courant dans le neutre à la terre s'élevait à $23^{A},8$; les bobines Petersen étant en circuit, un courant d'harmoniques (où l'harmonique 5 était prépondérant) de 6^{A} à $6^{A},5$ franchissait le point de mise à la terre (fig. 6) ; ce

courant représentait environ le quart de l'ensemble du courant de perte du réseau. La mise à la terre étant effectuée brusquement, il se produisait des craquements dans les appareils desservant une ligne téléphonique parallèle à la ligne à haute tension, malgré que les bobines de mise à la terre fussent reliées normalement au point neutre du transformateur monté en étoile. En effectuant la mise à la terre d'une phase, à travers une résistance de l'ordre de 2.000 ohms (résistance pour surtensions), le courant entre le neutre et la terre atteignait $1^{A},5$. La figure 7 représente l'allure de ce courant.

(*A suivre.*)

LE TIMBRE-POSTE RONSARD.

Sur la proposition du comité chargé d'organiser les fêtes en l'honneur du quatrième centenaire de Ronsard, l'administration avait donné, l'année dernière, un avis favorable à l'émission d'un timbre-poste commémoratif.

Une loi du 18 août 1924 autorisa cette émission ; elle indiqua que le timbre serait celui de 75 centimes et que la durée de sa validité serait limitée au 31 décembre 1924. Un arrêté du 27 août précisa que la nouvelle vignette serait mise en vente du 6 octobre au 30 novembre 1924.

Le comité chargea M. Pierre Dautel, sculpteur et graveur en médailles, de présenter un dessin du timbre à émettre. Pour la gravure du poinçon, la direction des Beaux-Arts avait dressé une liste d'artistes, sur laquelle l'administration choisit M. Delzers, parce qu'il avait déjà gravé avec succès plusieurs timbres-poste.

Le timbre, qui est à l'effigie de Ronsard, a été imprimé obligatoirement en bleu, puisque sa valeur faciale est celle du port d'une lettre pour l'étranger. Le tirage a été de 8 millions environ de figurines ; il a été effectué sur des presses typographiques en blanc ordinaires.

*
* *

Le dessin du timbre en l'honneur de Ronsard a donc été commandé par le comité Ronsard à M. P. Dautel, sculpteur, graveur en médailles, qui fut, en 1902, pensionnaire de l'académie de France, à Rome, et qui, en 1910, a été hors concours à la Société des Artistes français.

Le dessin avait été conçu pour un tirage en bleu de France sur fond bleu. Malheureusement, l'épreuve a dû être faite autrement, et certains critiques d'art ont trouvé que le timbre, tel qu'il s'est

alors présenté, donnait un aspect peu agréable, maigre et petit.

Auparavant, c'est ce même M. P. Dautel qui avait été chargé par l'État d'exécuter la médaille Ronsard du quatrième centenaire ; pour composer le dessin du timbre, il a continué à se servir des deux documents dont il s'était déjà aidé pour la médaille.

Le premier de ces documents est un buste en plâtre du musée de Blois, analogue au buste en pierre qui orne la tombe du poète à Comes, près de Tours ; l'auteur de ce buste est inconnu.

Le second, c'est la gravure de la tête laurée de Ronsard, qui décore l'édition de 1552 des « Amours de Ronsard » ; l'auteur est également inconnu.

M. P. Dautel, qui est habitué à rester dans l'ombre et le calme, a la modestie des grands artisans ; mais cette production, qui a été bien accueillie du public, fait honneur à l'administration.

Le poinçon est dû à M. Delzers, dont nous sommes heureux de pouvoir retracer l'activité artistique et les succès dans la notice biographique suivante.

NOTICE BIOGRAPHIQUE.

Delzers, Antonin, né le 17 août 1873 à Castelsarrasin (Tarn-et-Garonne).

Élève à l'école des Beaux-Arts de Toulouse.

Arrivé à Paris en 1895, eut pour maîtres Bouguereau et Jules Jacquet à l'École nationale des Beaux-Arts.

Concours de Rome de gravure en 1900 : obtient le premier second grand prix.

Exposant régulièrement au Salon des artistes français depuis 1894, à la section de gravure en taille douce.

Mention honorable en 1898.

Médaille de troisième classe en 1900.

Bourse de voyage en 1900.

Lauréat de l'académie des Beaux-Arts en 1905.

Médaille de deuxième classe en 1906 et hors concours.

Médaille de première classe en 1911.

Chevalier de la légion d'honneur en 1923.

Membre du jury, section de gravure.

Exposant à diverses expositions internationales à l'étranger.

Œuvre artistique la plus importante de M. Delzers.

Pour l'État :

Portraits de Guillaume II d'Orange et Marie-Henriette Stuart, d'après van Dick ;

Entrée du pape Urbain II à Toulouse, d'après Benjamin Constant ;

Les Chérifas, d'après Benjamin Constant.

Pour la ville de Paris.

La mort de l'émir, d'après Benjamin Constant.

Planches gravées pour la Gazette des Beaux-Arts, la Revue de l'Art, la Société Française des amis des Beaux-Arts.

Nombreux portraits originaux, notamment :

MM. Dujardin-Beaumetz, Maurice Sarraut, Desplas, le général Vincendon, Mgr Gazaniol, Jean Lanes, le président de la république chinoise et les ministres chinois.

Planches gravées en couleurs pour l'Angleterre, d'après Mme Vigée-Lebrun, Dowmann, Wright, Peters, Reynolds, Hamilton.

Poinçons pour timbres-poste :

Maroc, Tunisie, Togo, Niger, Ethiopie, Nouvelle-Calédonie, Indo-Chine, Ronsard.

Nombreux portraits dessinés et gravés, et au pastel.

UNIFICATION
DE LA TÉLÉGRAPHIE INTERNATIONALE.

Un article très important a été communiqué par la direction des télégraphes de Berlin à la revue Telegraphen-und Fernsprech-Technik (1). *Il mérite une analyse, que nous donnons ici sans commentaires.*

Nécessité d'une entente internationale. — Selon l'auteur, l'Allemagne doit indiquer la position qu'elle entend prendre dans la controverse relative à l'unification du code à cinq signaux.

L'appareil de réception le plus convenable actuellement est le relais polarisé, sensible au courant positif et au courant négatif; il convient d'autre part de constituer chaque lettre par le même nombre de signaux élémentaires; or il faut avoir 30 lettres ou signes conventionnels; donc il faut cinq signaux élémentaires par lettre ou signe.

L'unification de l'alphabet n'est qu'un des côtés de l'unification à envisager.

Pour l'exploitation internationale au morse, on a pu facilement, en Europe, adopter un alphabet unique. Quand on emploie un appareil imprimeur, il y a une répercussion plus compliquée du choix de l'alphabet sur la constitution de l'appareil. L'unification est pourtant désirable et sans doute possible. Le mieux serait d'adopter le même appareil partout; cependant ce serait arrêter le progrès; et la diversité des types d'appareils n'est peut-être pas un obstacle insurmontable.

Imitons les techniciens du téléphone, qui se sont entendus de nation à nation pour l'organisation du réseau de câbles téléphoniques internationaux; mais leur tâche était facile; ils ont tous

1. *Telegraphen- und Fernsprech-Technik :* novembre 1924.

le même transmetteur : le microphone, et le même récepteur : le téléphone. Le télégraphe offre plus de variété et chacun a sa langue, j'entends : son alphabet.

Le réseau téléphonique souterrain servira aussi pour la télégraphie ; mais, comme, à la base de toute unification, il y a le nombre de signaux à la minute que la ligne est susceptible de transmettre, il faut partir de la ligne.

Il convient, dans le régime international, d'adopter les moyens les plus perfectionnés de la technique et de considérer le télégraphe imprimeur comme assez avancé pour qu'on s'entende au sujet de son emploi.

Historique. — A l'origine, on n'avait que des lignes aériennes; on ne pouvait être trop exigeant à leur égard. Les conventions internationales ont adopté le morse, puis enfin ont recommandé le hughes, comme imprimeur typographique.

Ensuite on vit apparaître le wheatstone qui expédie les télégrammes par séries, et le baudot, type des appareils multiples.

La convention de Lisbonne (11 juin 1908) porte

a) que les conducteurs doivent être bons mécaniquement et électriquement ;

b) que le morse ou le parleur conviennent au trafic modéré, le hughes au trafic plus important;

c) que, dans le cas de trafic chargé, il y a lieu de recourir au baudot ou au wheatstone.

Le trafic international s'est accru; le nombre des morses et des hughes diminue. Dans les accords prochains, il faudra tenir plus de compte que jadis des trafics chargés, tant pour la ligne que pour les appareils.

Proposition relative à la ligne de transmission. — Autrefois on se contentait d'exiger de la ligne une certaine conductibilité au kilomètre; mais pour la sécurité internationale du trafic et pour l'exploitation intense, il faut des lignes souterraines, autant que possible, — comme en téléphonie.

Les techniciens avertis ne conçoivent pas l'exploitation télé-

graphique sur câble autrement qu'en circuit métallique fermé. Il faut le double fil et que le câble soit prévu en conséquence.

On y est d'ailleurs obligé par l'extension des réseaux de distribution d'énergie électrique.

On continuera à avoir, sur les communications télégraphiques, un relais de ligne électromagnétique.

La durée minimum de fonctionnement du relais, pour que l'armature change de position, en tenant compte du temps où le contact est mal assuré par le jeu de l'élasticité, au moment du choc de l'armature sur le butoir, peut être estimée à 0,006 seconde. On a fait mieux, mais exceptionnellement. Cette durée de 0,006 sec. doit être à la base de toute évaluation concernant le débit à envisager.

Comme on n'a guère à prendre en considération d'autre code que le code à cinq éléments, ceci correspond à 2.000 lettres (ou signes conventionnels) à la minute.

Cette vitesse est compatible avec les câbles pupinisés, surtout si l'on emploie une force électromotrice alternative de fréquence assez élevée. On peut alors superposer les fréquences.

En attendant, on peut aller jusqu'à 1.500 lettres, sans multiplier les relais outre mesure.

On peut employer des relais à lampes.

Donc on doit envisager que la ligne permette de 1.500 à 2.000 lettres à la minute, avec un code à cinq signaux élémentaires.

Spécifications relatifs aux appareils. — Dans l'impression sur page, on perd des signes conventionnels pour aller à la ligne et pour la progression du papier. La pratique n'a pas encore sanctionné les essais. Pour le moment, on doit se résigner à la bande.

Il faudrait prévoir l'usage à volonté de la bande ou de l'impression sur page.

L'appareil multiple est préférable, dans l'exploitation courante, à l'appareil qui travaille par séries. Ce dernier l'emporte cependant pour les télégrammes de presse. C'est alors qu'on aurait besoin de l'impression sur page; mais on perd des signaux et du

temps. Il faudrait, comme au Siemens, une méthode de travail alternante, permettant de gagner le temps pour l'impression. La photographie n'est pas au point. Il faut donc en revenir aux appareils multiples.

On est d'accord entre techniciens pour admettre un clavier universel. On y fait de 3 à 6 frappes à la seconde ; cela fait 180 à 360 lettres à la minute.

Il faut donc prévoir la possibilité de l'impression sur la bande à raison de 360 lettres à la minute.

Dans l'impression sur page, l'employé réceptionnaire s'accommoderait toujours de ce maximum de 360 lettres ; voilà pourquoi l'impression sur page est désirable.

Conclusion : l'appareil type sera un quadruple pouvant donner jusqu'à 1.500 lettres à la minute.

Le manipulateur comprendra un clavier et un transmetteur ; le transmetteur observera seul la cadence.

Le manipulant pourra faire jusqu'à 8 frappes à la seconde pour se ménager une avance ; mais on ne doit compter, à la la réception, que six lettres.

Il y aura des cas où l'on pourra se contenter d'une vitesse de régime moins élevée.

On peut aussi maintenir la vitesse en préparant les bandes perforées à part ; l'expéditeur peut remettre des bandes ; pour le transit, il y a avantage à recevoir sous forme de bande perforée.

Peu nous importe la manière d'accumuler la matière à transmettre. Mais la bande perforée est coûteuse ; on pourrait étudier des moyens où la composition, faite en pièces mobiles, pourrait être redistribuée et resservir ; mais il faudrait un approvisionnement bien considérable.

Pendant l'accumulation, l'employé manipulant dispose son travail, marque l'heure, note les questions, donne les réponses de service, déchiffre les télégrammes illisibles, etc...

L'avance prise à la bande manifeste l'employé bien doué.

Autrefois, on avait une impression de contrôle au départ ; on l'a supprimée ; le bon employé ne fait pas de faute. Nous y reviendrons.

Les questions constructives ne sont pas à traiter ici.

L'appareil de réception comprend l'organe sensible et l'imprimeur. Le récepteur sera un quadruple, construit pour recevoir 4×180 à 4×360 lettres, à la minute. L'unification n'a pas à s'occuper du moyen de masquer les corrections ou d'arrêter la progression pendant l'inversion ; on pourra parler des signaux de service, arrêt, reperforage de la bande, etc...

Synchronisation. — Il faut synchroniser le transmetteur et le récepteur. Il y aurait intérêt à unifier les moyens. Pour gagner en vitesse, il faut renoncer aux courants spéciaux. L'isochronisme peut être laissé à la discrétion de chacun. Il n'en est pas de même pour l'orientation et pour la conservation du synchronisme dans l'intervalle des transmissions. L'auteur recommande l'attaque par moteur de Siemens et Halske, avec le régulateur de Franke. Le diapason ne permet pas une marche de vitesse suffisante. Il faut aussi surveiller l'état des relais à lampes, même dans les intervalles. Il faudrait donc envoyer, en tout temps, des signes convenus pour vérifier que la communication est toujours en ordre de marche. L'auteur montre que le dispositif Siemens s'y prête, et il insiste sur la nécessité d'une entente concernant l'*établissement* de la vitesse de régime et de la mise en phase.

Roue des types ou leviers frappeurs, c'est indifférent. Mais il est désirable de pouvoir recevoir soit par impression sous bande, soit par bande perforée.

Télétypes. — Il y a à examiner à part le cas des trafics moins intenses.

On se sert du hughes, mais on a maintenant des télétypes divers, peu exigeants en fait de synchronisme, mais laissés sans contrôle dans les intervalles de repos.

Ne pourrait-on pas employer dans ce cas le télégraphe à grand débit réduit à un secteur? On peut s'arranger pour déclancher le mouvement du récepteur automatiquement quand on lui transmet, et l'arrêter en fin de transmission.

L'appareil devrait s'adapter aux besoins des particuliers et remplacer les appareils des banques ou autres analogues. L'auteur décrit diverses applications.

Télégraphie sous-marine. — Il y a lieu maintenant d'envisager aussi la télégraphie sous-marine.

C'était autrefois un domaine bien à part de la technique. La situation a changé.

On avait le recorder; on a l'amplificateur à lampes. Pour les câbles de moyenne longueur, l'amplificateur permet de plus grandes vitesses, en liaison avec les procédés qui redressent la déformation. On peut alors actionner des appareils imprimeurs à peu près semblables aux autres.

Sur les câbles courts, on se sert des mêmes appareils que pour le trafic continental (Längenmass d'environ 5 à 7).

Sur les câbles les plus longs, on emploie le code à trois signaux élémentaires (+, —, O). C'est avec lui qu'est construit l'alphabet du recorder, mais on n'a que 27 combinaisons. Seulement la vitesse est comme 5 est à 3 par rapport au code Baudot. A part cette différence, les mêmes principes d'unification subsistent.

Alphabet. — L'alphabet Morse est fait de points et de traits; les lettres les plus fréquentes sont constituées par les signaux courts. On a cherché la vitesse.

Il y a aujourd'hui trois alphabets à cinq signaux élémentaires (Baudot, Murray, Siemens).

Murray choisit une bande étroite; au milieu, trous d'entraînement; on perfore chaque lettre, en long, toujours du même côté de la ligne des perforations pour l'avancement du papier, laquelle occupe le milieu de la bande; on peut faire resservir la bande, en utilisant l'autre côté. Comme les trous de la première transmission créent des points faibles pour la résistance du papier, il faut choisir, pour les lettres les plus fréquentes, les combinaisons comportant le moins de trous; on ménage aussi l'usure des poinçons.

En Allemagne, il y a quinze ans, on a envisagé le trafic sur les câbles à la gutta et limité la vitesse à 600 lettres à la minute ;

on faisait l'exploitation par séries ; à la réception, il y avait un employé à la colle, l'autre au contrôle ; on marchait en duplex.

L'alphabet Siemens devait s'adapter à l'exploitation des câbles ; comme le signal élémentaire isolé est le plus mal reçu, on cherchait à lier entre eux les signaux élémentaires le plus possible. La plus mauvaise combinaison (+ — + — +) était réservée à la lettre X, la plus rare de toutes en allemand.

Le code Baudot est conçu pour faciliter la manipulation manuelle. La main droite a trois touches, la main gauche en a deux. Avec la main droite seule, on fait les diverses voyelles. A chaque consonne, on associe une voyelle qui forme avec elle un monosyllabe aisé à retenir ; de plus, les consonnes sont divisées en trois groupes égaux dans l'ordre alphabétique ; pour le premier groupe, la main gauche abaisse un doigt ; pour le second, les deux doigts ; pour le dernier, le second seul. L'alphabet s'apprend ainsi sans effort.

Le point de vue Siemens ne peut plus être maintenu aujourd'hui.

Les câbles ne sont plus les mêmes ; l'induction mutuelle a diminué ; on rectifie ou redresse les signaux.

L'auteur repousse également le code Baudot, parce qu'il ne s'adapte pas au clavier universel. Il cite les études de Mirich, Booth, Willmott. Pourtant l'idée de Baudot était excellente ; il faut aussi approuver l'objectif de Murray. Il n'est pas impossible de les concilier.

La règle de Baudot est essentielle : on ne peut se passer du contrôle ; la bande perforée doit servir à remplacer l'impression du contrôle ; il faut qu'à la rigueur on puisse la lire. C'est nécessaire pour répondre aux demandes du correspondant, pour reprendre un télégramme à partir d'un passage cité, ou pour repartir d'un numéro donné, etc... Il faut qu'on puisse reconnaître une erreur, retrouver la cause d'une fausse lettre, favoriser telle on telle émission élémentaire. On peut facilement lire la bande perforée ; on peut enseigner cette lecture.

Il faut n'avoir qu'une seule rangée de trous d'entraînement, et

ces trous auront des dimensions plus petites que celles des perforations significatives ; celles-ci se feront par le travers, deux d'un côté, trois de l'autre ; on perforera le trou d'entraînement en même temps que la lettre. L'auteur pense que les combinaisons Murray seront la plupart du temps à retenir ; les combinaisons les plus claires sont celles qui correspondent à des perforations symétriques (trou 1, trou 5), (trou 2, trou 4), (trous 2, 3, 4), etc... Ensuite celles où les perforations se suivent (1, 2), (2, 3), etc... (1, 2, 3), (3, 4, 5), etc.....

Il faut donc ordonner les lettres d'après leur fréquence ; mais il ne faut pas se servir de texte imprimé ; il faut prendre des télégrammes. Il y a accord entre les diverses langues, ou peu s'en faut. Pour l'allemand, on aurait la série : E, N, R, A, T, S, I, L, H, U, O, G, D, B, M, C, F, I, K, W, Z, P, V, J, Y, X, Q.

Les chiffres et les signes conventionnels sont déterminés, quand on se donne les lettres, par l'affectation qui en est faite entre les diverses touches, dans le clavier universel.

Pour les câbles, il y a le code à trois signaux. Les mêmes principes peuvent servir ; seulement, il faut tenir compte du grand emploi du langage convenu.

Il faudrait 30 lettres, on n'en a que 27. Cela oblige à supprimer quelques signes convenus. Il y a des appareils en construction pour l'usage de ce code.

L'auteur ne se dissimule pas les difficultés ; il préconise une conférence analogue à la conférence du Comité international pour les lignes téléphoniques à grande distance.

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

Quelques conditions essentielles de reproduction fidèle en radiotéléphonie (L. C. Pocock, dans *The Electrician*, 10 octobre 1924). — Au début de la téléphonie, les facteurs économiques étaient tels, que le principal problème consistait à assurer à l'extrémité réceptrice un volume de son suffisant. L'invention, d'abord, de la bobine de charge, puis celle de la lampe à trois électrodes comme relais téléphonique, rendirent possible la transmission de la parole à distance illimitée, et ainsi renversèrent l'ordre d'importance relative de l'intensité de la parole et de son intelligibilité. L'augmentation de la fidélité dans la reproduction en radiophonie est donc due pour beaucoup aux succès des recherches considérables faites en téléphonie sur fils. Plus d'un point est commun aux deux sciences, et il est désirable d'éviter la terminologie et les définitions ambiguës. Les termes *haute fréquence* et *basse fréquence* seront respectivement remplacés par les termes de *fréquence radio* ou *fréquence porteuse* et *fréquence vocale* ou *fréquence audible*. *Transmetteur* et *récepteur* seront usités pour désigner les instruments téléphoniques correspondants, connus en radio sous les noms de micros et de casques.

L'*articulation* d'un système reproducteur est le pourcentage moyen des monosyllabes transmis par le système et correctement reçus sans aucun contexte. L'*intelligibilité* d'un tel système est le pourcentage d'idées transmises au moyen du système, sous forme de courtes phrases, et correctement reçues. L'*efficacité* du trafic du système est inversement proportionnelle au temps mis pour transmettre une seule idée à travers le système. La *fidélité* est la similarité de la parole ou musique reproduite et de l'original, excepté telles propriétés qui peuvent être spécifiquement définies dans

l'intelligibilité. La *perfection* de la reproduction est le degré total de similarité de l'original et de la parole ou musique reproduite, en y considérant la fidélité et les autres facteurs qui affectent l'intelligibilité.

Pour autant que les conditions de stabilité puissent être assurées, la distorsion qui peut naître est due, soit à ce que les différentes fréquences simples ne sont pas reproduites dans le même rapport (distorsion fréquentielle), soit à ce que, pour une fréquence donnée, les différentes amplitudes sont reproduites dans des rapports différents (distorsion d'amplitude). Dans ce dernier cas, la distorsion produite est double : premièrement, les intensités des sons émis ne sont pas rendues dans leur rapport initial : par exemple, les passages crescendo ne rendent pas d'effet crescendo appréciable ; et secondement, un certain nombre de fréquences composantes sont introduites, qui n'existaient pas dans le son original.

Il apparaît nettement qu'une autre variable, savoir la phase, puisse subir la distorsion ; mais il a été bien établi que la phase relative des fréquences reproduites n'entraîne pas de notable différence dans le son entendu, bien que la forme de l'onde puisse être grandement changée par des altérations de la phase.

Si deux sons, l'intensité de l'un étant double de l'autre, sont produits par un système qui est capable de les donner toujours dans ce même rapport d'intensité, mais, avec des valeurs absolues différentes, par suite de la caractéristique non linéaire de l'oreille, à la fois en ce qui concerne la fréquence et l'amplitude, ces sons ne seront interprétés dans leur rapport correct que si l'oreille les perçoit exactement aux intensités absolues avec lesquelles elle aurait entendu les sons originaux. L'article *in extenso* donne une étude mathématique de ces causes de distorsion, et insiste particulièrement sur l'action des résonances électriques et mécaniques sur l'état stable et les phénomènes transitoires.

Caractéristiques des appareils. — A notre connaissance, seuls cinq types d'excellents transmetteurs sont aujourd'hui en usage. Dans le *condensateur parlant*, un diaphragme léger, extrêmement tendu, considérablement amorti, constitue un petit condensateur dont la capacité varie suivant la pression de l'air. Si une tension

constante est appliquée à une résistance sur laquelle l'amplificateur est en dérivation, la tension alternative aux bornes de la résistance sera proportionnelle à l'intensité du courant dû aux variations de capacité du condensateur. Pour les très petites variations de capacité dues aux variations de pression du son incident sur le diaphragme, la distorsion d'amplitude est complètement négligeable ; l'amortissement et la haute fréquence (environ 16.000 périodes) fournissent, en se composant, une caractéristique de fréquence presque aplatie.

Dans le transmetteur à charbon, appelé *microphone différentiel*, un semblable diaphragme, considérablement amorti, agit sur deux pastilles de charbon, une de chaque côté ; les connexions sont ainsi établies pour compenser la distorsion non linéaire du charbon. Les variations de résistance sont si petites, que la distorsion d'amplitude provenant de la relation entre pression et courant est complètement négligeable.

Dans le *transmetteur électrodynamique*, sous l'action des ondes sonores, une légère bobine très peu rigide vibre dans un champ magnétique ; l'amortissement est en partie mécanique et en partie électrique ; la tension fournie varie proportionnellement à la fréquence. La fréquence propre est probablement basse, de telle sorte que la variation de tension avec la fréquence compense en partie la caractéristique tombante fréquence-amplitude de la vibration, et la distorsion fréquentielle peut être corrigée par une inductance convenable.

Un quatrième type de transmetteur fonctionne par l'action directe des ondes sonores sur la décharge lumineuse froide obtenue dans une troisième électrode interposée. Il a été possible de mesurer la distorsion fréquentielle de ce transmetteur et d'obtenir, par un réglage convenable, une caractéristique pratiquement aplatie.

Dans un cinquième type, en usage en Allemagne, les ondes sonores agissent sur le courant passant dans un espace d'air ionisé entre un tube de Nernst et une électrode froide.

Amplificateurs. — Les courbes publiées par le Bureau of Standards américain montrent que, dans quelques amplificateurs commerciaux à deux étages essayés par lui, le gain en miles de câble

étalon variait de 40 miles lorsque la fréquence passait de 400 à 2.600 périodes. De tels résultats ne se comparent que très mal avec ceux obtenus sur les amplificateurs en usage depuis plusieurs années comme relais téléphoniques. Avec ceux-ci, le gain varie seulement de 1 mile à 1 mile 1/2 pour un champ de fréquences de 200 à 2.600 périodes.

Pour qu'une lampe amplificatrice puisse fonctionner sans distorsion, la caractéristique courant-plaque/tension-grille, dans les conditions de travail, doit être linéaire sur une certaine région, et la tension instantanée appliquée au circuit grille doit toujours rester entre les valeurs d'abcisses qui correspondent aux limites de linéarité. Ces conditions sont approximativement remplies lorsque la lampe a une capacité convenant au travail qu'elle doit fournir et si la tension-grille et la tension-plaque sont correctement choisies. On est guidé en gros, dans le choix de ces relations, par ce fait que la tension alternative maximum appliquée à la grille, ne doit pas, autant que possible, dépasser la différence de potentiel totale de grille, en y comprenant toute chute de potentiel due à une résistance élevée en série avec la batterie grille.

Le couplage par résistance donne naturellement de très bons résultats, et l'absence de distorsion fréquentielle est aisément assurée ; mais il exige une batterie plaque ayant une tension très élevée.

Le couplage par inductance ou par capacité a été employé avec beaucoup de succès. On doit faire attention à ce que l'inductance soit assez grande pour offrir une impédance nettement comparable à celle de la lampe aux plus basses fréquences à transmettre, et que, d'autre part, l'enroulement soit tel, que la capacité propre de la bobine n'approche pas de la condition de résonance pour toute fréquence prise dans le champ de celles à amplifier. Le noyau doit être de section suffisante pour ne pas être saturé par le courant de plaque passant dans les enroulements.

Le couplage par transformateur a la plus grande efficacité, et il est très difficile d'y prévenir la distorsion. L'avantage du couplage par transformateur est que la tension peut être élevée d'une lampe à l'autre, ceci réduisant le nombre des lampes nécessaires pour une

amplification donnée. La difficulté réside en ce fait que le primaire du transformateur doit remplir les conditions spécifiées pour le couplage par inductance, tandis que le secondaire, afin de présenter un rapport de quatre ou cinq, doit avoir une impédance 16 à 25 fois plus grande que celle du primaire. Une autre distorsion, un peu plus commune qu'il ne devrait dans les amplificateurs pour fréquences audibles, est due à la courbure de la caractéristique d'hystérésis du fer, ce qui assure une certaine quantité de distorsion d'amplitude.

En raison de son effet probable sur les transitoires, il doit aussi être fait allusion à la distorsion de phase provenant d'une inductance dans le circuit plaque.

Van der Byl a montré que, lorsque le circuit plaque présente de l'inductance, la caractéristique dynamique est approximativement une ellipse dont l'aire est proportionnelle à l'énergie par cycle développée dans l'inductance (voy. J. G. Frayne) ; il s'ensuit que, si l'inductance est suffisamment grande, le courant alternatif qui y passe peut être rendu si faible que l'énergie soit petite et la distorsion de phase négligeable.

On emploie judicieusement une réaction modérée pour accroître l'acuité de résonance, quand on reçoit faiblement ou à longue distance ; une résonance aiguë accroît la sélectivité de l'appareil récepteur, et le rapport de la transmission accordée avec les bruits parasites ou les transmissions sur des longueurs d'onde légèrement différentes. Si, cependant, la réaction est trop poussée, la courbe du courant d'antenne avec la fréquence, pour une tension constante appliquée, devient très pointue, et le champ des fréquences qui correspondent à la transmission ne reste pas plus longtemps sur une partie sensiblement plate de la courbe de résonance, de sorte que la distorsion fréquentielle intervient.

Des essais ont été entrepris occasionnellement pour appliquer le principe de la réaction aux amplificateurs pour fréquence audible ; disons tout de suite qu'il n'y a aucun développement important à espérer dans cet ordre d'idées.

Une méthode qui, comme la réaction, accroit le débit d'une simple lampe, et qui se place maintenant au premier rang, est la ***double amplification simultanée*** : elle consiste à employer la même

lampe, d'abord pour l'amplification de fréquence radio, puis pour l'amplification de fréquence audible. En général, au point de vue de la qualité, on n'obtient pas de résultats satisfaisants quand on utilise une seule lampe pour deux usages différents, parce que les caractéristiques du circuit qui répondent à un usage ne conviennent généralement pas à l'autre. Dans la double amplification simultanée, la lampe travaille sur les deux fréquences en amplificateur; mais les fréquences radio et audible doivent être séparées par des condensateurs, ce qui cause, dans le circuit de la fréquence audible, une distorsion appréciable.

Récepteurs haut-parleurs. — Depuis de nombreuses années, les récepteurs étaient construits d'après la pratique, avec ses tentatives et ses erreurs.

Les documents accumulés par cette méthode, en même temps que par le travail moderne et analytique du Dr Kennelly, sa méthode d'impédance, ont donné, aux recherches sur les récepteurs, une base scientifique, consolidée fortement du fait que le premier récepteur conçu par les nouvelles méthodes présentait un rendement de puissance acoustique deux fois et demie plus grand que les récepteurs précédents pour la même puissance admise, bien qu'il fût à ce moment plus petit et plus léger. Les perfectionnements de réalisation dus à l'étude qualitative de la transmission de la parole eurent ce double résultat de réduire et la distorsion fréquentielle et la distorsion d'amplitude.

Le montage récepteur n'est pas toujours fait pour traiter plus d'une certaine puissance sans une sérieuse distorsion d'amplitude; à ce point de vue, le récepteur doit pouvoir traiter sans distorsion autant de puissance que la lampe qui le précède. Cependant la lampe et le récepteur doivent admettre les maxima élevés de tension instantanée provenant soit d'une forme d'onde très raide, soit d'une variation d'intensité, ce qui arrive surtout en musique. Les mesures, faites avec un oscillographe à rayons cathodiques monté sur un excellent transformateur, ont montré que, dans un petit intervalle de temps et pour une conversation très rapide, le rapport de la tension maximum à la tension efficace est de 6 ou 7. Un chiffre quelque peu similaire en moyenne a été trouvé pour de

la musique de gramophone, sans que la musique ait varié en intensité jusqu'à un maximum de plus de 6 fois la valeur moyenne dans tout l'enregistrement.

En toute première approximation, on peut dire que, pour fournir un volume de son convenable dans une pièce d'habitation de dimensions modérées, un haut-parleur doit exiger 0,0003 à 0,0005 watts apparents, ceux-ci étant calculés en faisant le produit du courant déwatté efficace par la résistance effective du récepteur, à 800 périodes. Sachant que les maxima de l'onde de tension sont 7 fois la valeur efficace, et que, de plus, une certaine marge supplémentaire est nécessaire pour tenir compte des grandes variations d'intensité de la musique, il est facile de calculer une lampe de puissance moyenne pour qu'elle amplifie la parole dans de bonnes conditions.

Câblage en étoile des paires combinables des câbles téléphoniques (*E.T.Z.* : 3 juillet 1924). — Le câblage en étoile, d'invention récente, a vivement attiré l'attention des techniciens, parce qu'il permet une meilleure utilisation de la place disponible dans les enveloppes des câbles téléphoniques. En toronnant deux paires combinables ensemble, on obtient un groupe de conducteurs

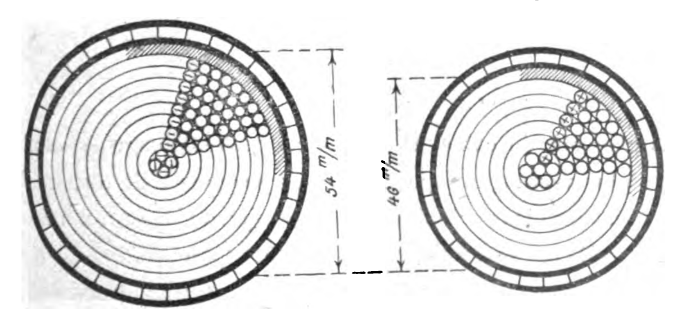


Fig. 1. — Dimensions d'un câble téléphonique à 250 paires ; *à gauche* : câblage Dieselhorst-Martin ; *à droite* : câblage en étoile.

presque cylindrique, qui se loge plus facilement dans le câble à côté des autres groupes. Vus en coupe, les quatre conducteurs sont disposés commme l'indique le schéma ci-contre (fig. 2), d'où le nom de câblage « en étoile ». Ce système présente de sérieux avantages sur les autres modes de câblage employés jusqu'ici, notam-

ment sur le système Dieselhorst-Martin qui consiste à toronner les deux conducteurs d'une même paire combinable, puis les deux paires d'une même quadrette.

I II' I' II

Fig. 2.

Le tableau suivant indique les avantages au point de vue de l'encombrement que présente un câble à 150 paires, câblé d'après le nouveau procédé, les constantes électriques étant les mêmes dans les trois cas :

Câblage par paires de fils	1,00
Câblage Dieselhorst-Martin	0,96
Câblage en étoile	0,75

La figure 1 montre l'économie de place réalisée sur un câble armé à 250 paires. Il en résulte une économie appréciable au point de vue de l'enveloppe et de l'armature, Les économies en matières premières (plomb, etc...) ne sont pas les mêmes dans tous les cas ; elles dépendent évidemment du nombre des paires de fils, c'est-à-dire

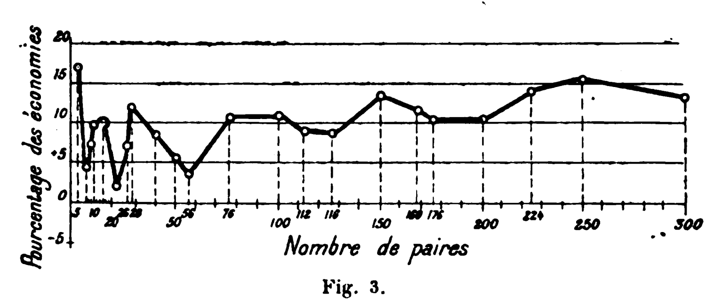


Fig. 3.

de la grosseur du câble. Il est des cas où le câblage en étoile n'est guère plus avantageux que le câblage par paires de fils. La figure 3 donne de précieuses indications à cet égard ; les économies résultant du câblage en étoile y sont portées pour une série de câbles généralement employés ; la courbe présente une allure très irrégulière. La figure 4 illustre trois exemples des économies de matériel réalisées avec le câblage en étoile.

On établit une distinction entre les circuits dans la forme habituelle. Tantôt les deux paires d'une quadrette sont revêtues d'un papier de couleur différente (la première paire comprend un fil blanc et un fil vert ; la deuxième paire, un fil rouge et un fil bleu) ; tantôt on choisit, pour les paires de fils, les teintes : bleu et blanc

(la deuxième paire se distingue alors de la première par le fait que le papier isolant est rayé de noir ou que le conducteur est en cuivre étamé).

L'A.E.G. a déjà construit un grand nombre de ces câbles ; l'expérience a démontré que le câblage en étoile répond à toutes les exigences ; au point de vue électrique, il est comparable aux autres systèmes. Il est en outre avantageux parce que la construction des quadrettes est plus homogène ; celles-ci ne bougent plus après que le câble a été posé. Un câble du type en étoile peut donc être facilement raccordé à un câble du type Dieselhorst-Martin.

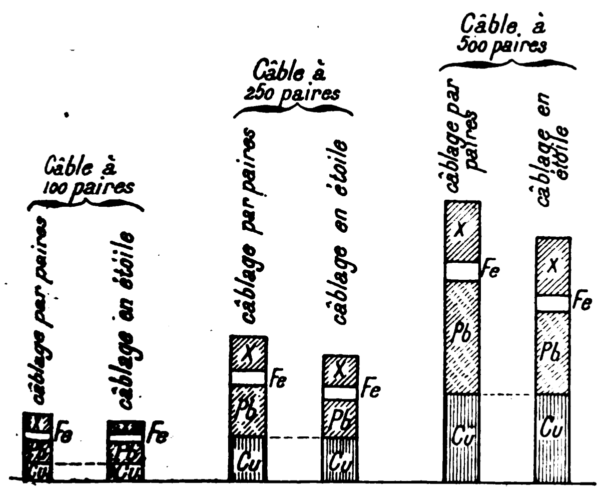


Fig. 4.

La pratique a consacré les avantages du nouveau mode de câblage. L'administration allemande des télégraphes s'est tout d'abord servie des câbles du nouveau type sur les réseaux téléphoniques urbains ; il en a été de même en Hollande ; la Norvège s'est fait livrer un nombre important de ces câbles. La compagnie allemande A.E.G. construit actuellement, pour le compte de la Norvège, un gros câble du nouveau type, qui sera pupinisé et sera raccordé à un câble du type Dieselhorst-Martin, également pupinisé. Le nouveau câble sera posé le long d'une voie ferrée électrifiée.

Moins volumineux, partant moins lourds, les câbles du nouveau

genre sont tout indiqués dans les cas où l'on se propose de poser des câbles aériens ou sous-marins. Ils sont très avantageux également pour réaliser les extensions des réseaux téléphoniques urbains, alors qu'il faut loger le plus grand nombre possible de circuits dans les canalisations en ciment existantes, occupées par des câbles de l'ancien modèle.

INFORMATIONS ET VARIÉTÉS.

Élection à l'Académie française de M. Georges Lecomte. — Les *Annales des Postes et Télégraphes* ont signalé l'élection à l'Académie française de M. Estaunié, ancien directeur de l'administration centrale des Postes et Télégraphes.

Le personnel de cette grande administration applaudit aujourd'hui à l'élection de M. Georges Lecomte. C'est qu'en effet il a appartenu au ministère des Postes et Télégraphes de 1885 à 1893, avec interruption d'une année pour son volontariat d'un an, vers 1888-1889. Il a grandi dans une boîte aux lettres, pour ainsi dire, et dans un bureau télégraphique, puisque son père était receveur principal des Postes et Télégraphes de Saône-et-Loire. Il est né le 9 juillet 1867 à Mâcon ; il commença ses études à Autun, les acheva au lycée Lamartine de Mâcon, commença son droit à la faculté de Dijon, le termina à la faculté de Paris et fut inscrit comme avocat à la cour d'appel.

Attaché au cabinet du ministre en 1885 avec M. Sarrien, il a été aussi pendant quelques mois à la direction du Personnel. A cette époque, déjà lointaine, le titre de bachelier donna pendant deux ou trois semestres le droit de faire régulièrement partie des cadres.

En 1887, il fut affecté au bureau de la Vérification des produits (direction de la Comptabilité) jusqu'à son volontariat.

Au retour du régiment, il fut mis pendant quelques semaines à la Caisse nationale d'épargne (bureau du Double des comptes courants).

Puis, comme il était devenu licencié en droit avant de partir sous les drapeaux, il fut nommé, sans l'avoir demandé, au service du Contentieux, qui faisait alors partie du Cabinet.

L'année suivante, sur sa demande, il fut replacé à la Vérification des produits où il resta de 1890 jusqu'à 1893, époque à laquelle, sentant qu'il pouvait désormais vivre de son libre travail littéraire, il se fit mettre en disponibilité.

Ayant passé son enfance dans une recette principale, M. Georges Lecomte est encore capable d'expédier une dépêche au Morse et de la recevoir au son. Il a gardé aux P.T.T. des amitiés qu'il qualifie de charmantes, précieuses, fidèles, et auxquelles il tient beaucoup.

Aussi est-ce au fond du cœur et très respectueusement que nous lui adressons nos félicitations.

Vers l'âge de dix-huit ans, il prit la rédaction de *la Cravache*, où parnassiens et symbolistes se mêlaient. Il était un défenseur de l'impressionisme et louait les Pissaro, Signac, etc. Il écrivit une pièce pessimiste, *la Meule*, jouée par Antoine. Il rapporta d'Espagne un livre pénétrant où il retraça les influences islamiques et catholiques et étudia la peinture espagnole et son retentissement chez les artistes français. Il écrivit un certain nombre de romans satiriques, parmi lesquels nous ferons une place à part aux *Cartons verts* où il a peint en maître la pantomime du travail qui donne aux ministères l'apparence de la vie. *Les valets* sont un pamphlet, dirigé contre les politiciens dont la vue ne dépasse pas l'arrondissement. Citons *Suzeraine*, *la Maison des fleurs*, ou plutôt, ne citons plus, de peur d'être incomplet; mais disons seulement que la guerre a enlevé un fils à M. Georges Lecomte ; inclinons-nons devant ce deuil et comprenons l'émotion et le patriotisme de ses écrits pendant la tourmente : *Pour celles qui pleurent*, *Pour celles qui souffrent*, etc. Nous ne parlerons pas de ses dernières œuvres : *La lumière retrouvée*, *Le mort saisit le vif*. L'actualité s'en est emparé.

Mais il faut ajouter que M. Georges Lecomte est fort estimé comme administrateur, en sa qualité de président de la Société des gens de lettres.

Enfin, il est directeur de l'école Estienne. Il y a développé le goût de la recherche et de la nouveauté, le culte du beau, l'amour du travail bien fait. Et par là, nous revenons à notre point de départ : des ouvriers de l'atelier de fabrication des timbres-poste ayant été encouragés à suivre les cours de l'école Estienne par le chef de l'atelier, un grand nombre se sont piqués d'émulation et beaucoup de jeunes y sont allés faire leur apprentissage. De cette

façon encore, M. Georges Lecomte a rendu les plus grands services à l'administration qui s'honore aujourd'hui d'avoir eu jadis sa collaboration directe.

C'est donc pour nous l'accomplissement tout naturel d'un devoir de reconnaissance, quand nous applaudissons à l'élection du maître écrivain.

J.-B. P..

Lampe automatique à arc rotatif. — Le laboratoire du Services d'Études et de Recherches Techniques des P. T. T. utilise,

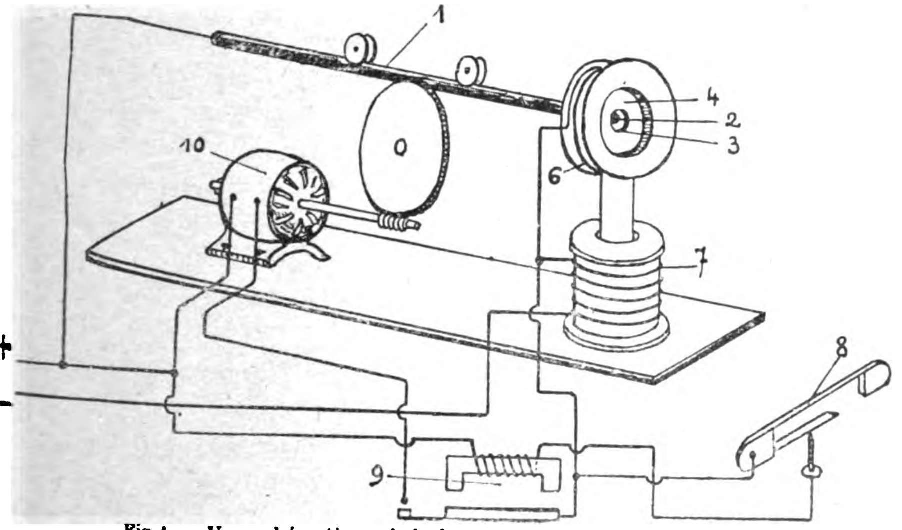


Fig. 1. — Vue schématique de la lampe automatique G. M. G..

depuis plusieurs années, une lampe automatique à arc rotatif, d'un principe très simple, d'un grand éclat lumineux, et de dimensions très réduites.

Parmi les principaux avantages de cette lampe, dénommée *lampe G. M. G.*, on peut citer les suivants : l'arc est toujours centré, et d'une fixité absolue ; toute la lumière produite est utilisée ; l'allumage et le réglage sont automatiques ; le rendement lumineux est de beaucoup supérieur à celui des autres lampes ; le remplacement du charbon est facile et rapide ; son emploi ne demande aucune surveillance ni aucun réglage ; l'encombrement de la lampe dans son

carter, y compris le condensateur lumineux, est de 20cm de longueur, 12cm de largeur, 19cm,5 de hauteur.

Description de la lampe (fig. 1). — La lampe G.M.G. ne comprend qu'un seul charbon (1-2) de composition spéciale, constituant le pôle positif; il est placé horizontalement. Le pôle négatif est formé d'une pastille ou anneau creux en cuivre, de 35mm de diamètre (3).

L'extrémité 2 du charbon étant amenée au centre de l'anneau, dès que le courant passe l'arc électrique se forme entre le charbon et l'anneau.

Pour combattre l'échauffement du métal, on fait passer un courant d'eau à l'intérieur de l'électrode annulaire (4).

Extérieurement à l'anneau, un bobinage (6), parcouru par le courant électrique passant dans l'arc (110 volts continu) produit un champ magnétique qui entraîne l'arc dans un mouvement de rotation continu, à la vitesse de 500 à 3.000 tours par minute, imperceptible à l'œil. Ce mouvement rend l'éclat du cratère uniforme et réalise l'usure égale du charbon sur toute sa tranche.

Dans les autres lampes, au contraire, l'usure irrégulière cause l'instabilité de la lumière.

Thermostat. — Un thermostat, associé à la lampe, joue le rôle de servo-moteur automatique (fig. 2).

Il est constitué par une lame de métal approprié, placée devant l'anneau creux; cette lame est plus ou moins éclairée selon l'usure du

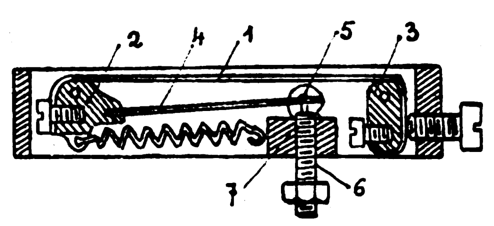


Fig. 2. — Détail du réglage automatique de la lampe G. M. G. :
1, lame dilatable; 2, porte-lame; 3, levier de réglage; 4, lame de ressort; 5, contact platiné; 6, vis platinée; 7, bloc isolant ; 8, vis de réglage du thermostat.

charbon, et, par suite, suivant le cas, se dilate ou se contracte, ce qui rompt ou ferme un circuit électrique (8-9-10) (fig. 1) commandant le moteur chargé de l'avancement du charbon.

Charbon. — Le charbon employé est revêtu extérieurement d'une enveloppe très mince de cuivre rouge, destinée à assurer un contact électrique très satisfaisant et une combustion régulière.

L'intérieur du charbon comporte une mèche, renfermant des matières minérales qui contribuent à donner une lumière très éclatante.

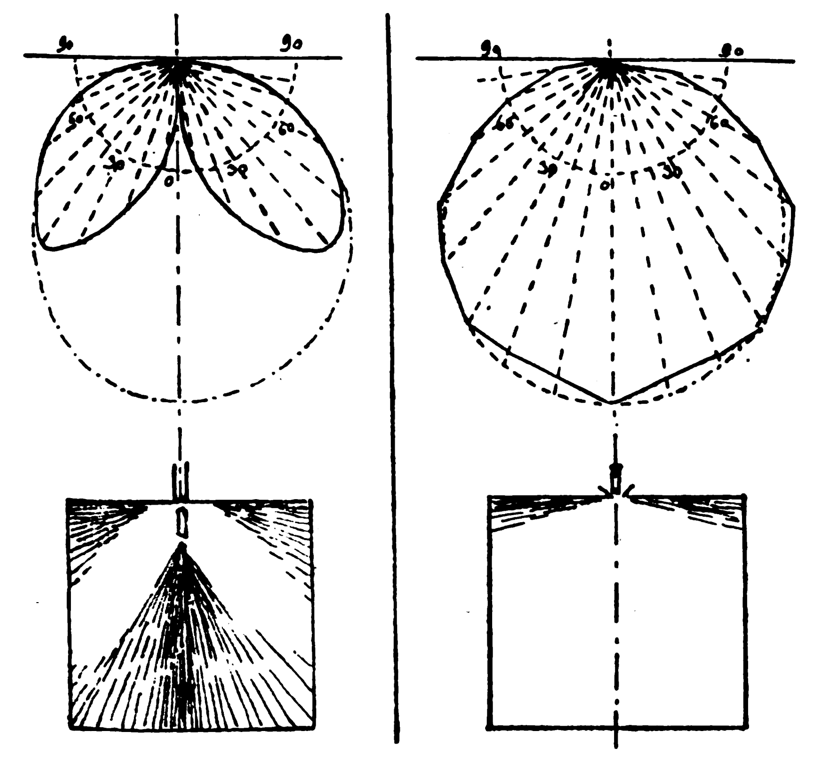


Fig. 3. — Répartition lumineuse comparée.
Arc ordinaire. Arc G. M. G..

La grosseur du charbon avec son enveloppe et de 6 millimètres.

Répartition lumineuse. — Dans les lampes à arc ordinaires, une grande partie de la lumière produite est absorbée par le charbon négatif.

Dans la lampe G. M. G., on utilise intégralement toute la lumière produite, le charbon négatif n'existant pas, et aucun corps opaque ne masquant le cratère (fig. 3).

Sans parler des nombreuses applications industrielles que la lampe G. M. G. est susceptible de recevoir, il est utile de dire que le laboratoire du Service d'Études et de Recherches Techniques utilise l'arc rotatif comme source de lumière de l'oscillographe Blondel, pour l'étude et la photographie des phénomènes électriques.

L'éclat lumineux considérable de la lampe G. M. G. permet d'obtenir directement, sur papier ou sur film, des impressions photographiques très vigoureuses de phénomènes électriques très rapides.

Suppression des harmoniques dans les ondes émises par les postes à arc. — Les ingénieurs du Post Office anglais sont parvenus à améliorer très sensiblement les émissions des postes à arc, en faisant agir l'arc non plus directement sur l'antenne, mais sur un circuit oscillant L C, lequel excite l'antenne par un couplage de quelques spires avec la self de réglage située à la base de celle-ci.

Le condensateur C doit avoir une capacité de l'ordre de grandeur de celle de l'antenne et supporter des charges en rapport avec la puissance oscillante en jeu pour l'émission. Dans le cas des stations de faible puissance, on a résolu le problème sans difficulté par l'emploi de condensateurs au mica du type Dubilier. L'installation de ce genre réalisée à Northolt (30 kilowatts) est d'un encombrement minime.

Il en est tout autrement pour les grandes stations telles que Leafield (200 kilowatts). Ici, les ingénieurs du service radio (1) ont dû étudier spécialement et construire de toutes pièces une batterie de quatre condensateurs à huile d'un encombrement de $3^m \times 2^m \times 1^m$ chacun.

Résultats obtenus. — Les ingénieurs anglais sont unanimes à reconnaître que les amplitudes des premiers harmoniques de l'arc ont été très sérieusement diminuées ; de plus, le souffle particulier

(1) Il est à signaler que le service technique radio du Post Office, dirigé par M. Shaughnessy, comprend trente et un ingénieurs munis de diplômes d'enseignement supérieur et ayant passé un examen d'entrée technique. Les condensateurs ont été étudiés par M. Gill, assisté de deux autres ingénieurs plus jeunes.



de l'arc a sensiblement disparu. Ces résultats sont donc favorables en ce qui concerne l'exploitation radiotélégraphique des grandes stations. Celles-ci ne gênent plus la réception des stations de petites longueurs d'onde et leurs émissions sont elles-mêmes reçues d'une façon plus précise grâce à la suppression du « souffle ».

Mais les harmoniques élevés, ceux qui gênent les amateurs de radiodiffusion dans la bande des longueurs d'onde entre 300 et 500 mètres environ ainsi que le trafic radiomaritime sur 600 mètres, sont loin d'être complètement éliminés. D'après le Post Office, ils avaient même été augmentés à la station de Leafield. La cause du mal et son remède paraissent avoir été très nettement établis par M. de Wardt, ingénieur, chef de la station de Leafield.

Recherche et suppression des petites longueurs d'onde parasites. — M. de Wardt a eu l'idée de rechercher le lieu de production de chacune de ces émissions à l'aide d'un cadre de 10 centimètres de côté faisant partie d'un circuit oscillant dont il pouvait faire varier la fréquence dans toute la bande réservée à la radiodiffusion. Il a trouvé que ces émissions provenaient des divers circuits oscillants que présentaient les circuits auxiliaires de la station placés dans le champ puissant de l'arc et oscillant chacun avec sa fréquence propre. Les transmissions qu'on entend ainsi dans la bande de radiodiffusion ne sont pas, à proprement parler, des harmoniques de l'arc. M. de Wardt a donné la chasse, si l'on peut dire, à ces émissions de courte longueur d'onde, et, leur circuit émetteur particulier étant reconnu, les a, soit amorties par l'introduction d'une résistance, soit fait sortir de la bande de radiodiffusion par l'adjonction d'une capacité. Ce travail systématique a donné les meilleurs résultats avec une dépense minime et a permis l'écoute des radio-concerts à des emplacements de plus en plus rapprochés de la station, jusqu'à la rendre finalement possible aux employés de la station logés dans son voisinage immédiat.

L'expansion de la T. S. F. en Tchécoslovaquie. — Cette nouvelle république, attachée à la France par des liens d'amitié, vient de perfectionner son outillage économique, donnant une fois de plus la preuve de son énergie et de son initiative. Les derniers

mois ont été témoins d'une activité remarquable en matière de T. S. F.. On vient d'achever à Podèbrady, au centre de la Bohême, la construction d'une station principale d'une portée d'environ 3.000 kilomètres, et deux stations d'une portée d'environ 2.000 kilomètres chacune en Slovaquie, l'une à Bratislava pour les communications avec les pays balkaniques, et l'autre à Košice pour les communications avec l'orient. En outre, d'autres stations d'une portée moindre sont prévues. A la fin de l'année 1922, la station de l'aéro-port de Kbely commença à fonctionner; l'année suivante, les stations de Karlovy Vary et Cheb. A. Bratislava, une station émettrice sera établie dans l'intérêt de la navigation danubienne et pour le service de la Commission internationale du Danube. La station émettrice de Podèbrady est destinée aux relations avec Paris, Berne et Bucarest, tandis que la station de Kbely est destinée d'une part à diffuser des nouvelles économiques de bourse et de journaux de France, d'Allemagne, de Suisse, d'Angleterre, d'autre part à servir aux intérêts des lignes aériennes se réunissant à Prague.

Le régime administratif et les dispositions légales viennent d'être adaptées aux exigences d'un système libéral et moderne. Le décret gouvernemental du 17 avril 1924 encourage la construction des postes d'amateurs. L'abonnement au broadcasting de la société Radiojournal a été abaissé de 60 °/₀. Un réseau de radioclubs nouvellement créés favorise le progrès du broadcasting, le public s'apercevant de la valeur artistique des émissions du Radiojournal. Une nouvelle industrie se charge de répondre aux besoins du nombre toujours croissant d'amateurs.

Dans le dessein de contribuer au développement de l'industrie radio-télégraphique et à l'extension du broadcasting, la direction de la foire de Prague a décidé d'organiser une foire-exposition spéciale dans le cadre de la réunion du printemps de 1925, qui se tiendra du 22 au 29 mars. A cet effet, la direction de la foire s'est assurée l'appui du ministère des Postes et Télégraphes, ainsi que la collaboration de l'Association des constructeurs tchécoslovaques d'appareils radiotélégraphiques, de l'Association centrale des négociants s'occupant de la vente d'appareils radio-télégraphiques, et de la société Radiojournal.

En même temps, un congrès de radioamateurs aura lieu à Prague. Il convient de noter que le développement de cette branche de l'industrie et du commerce est susceptible d'être marqué par la création d'importants débouchés français. Le pays offre à l'heure actuelle un marché très actif, surtout pour les produits spéciaux à la France, jouissant d'une réputation universelle, tels que : lampes-tubes électroniques, haut-parleurs, récepteurs-casques, montages, convertisseurs, appareils à cristaux, et tout ce qui a trait à l'appareillage et à l'équipement pour T. S. F..

Caractéristiques des câbles franco-algériens et franco-tunisiens.

Date de la pose	Poids des âmes par M.N.		Résistance ohmique par M.N.	Longueur	Résistance totale	Capacité par M.N.	Capacité totale	Constante de temps	Nombre maximum de sign^x élémentaires enregistrés à la minute en simplex (1)	Nombre de mots transmis dans l'expl^{on} normale actuelle (2)	Communications établies
	Cuivre	Gutta									
1879	48^{kg}	63^{kg}	$10^{\Omega},72$	509^{MN}	5460^{Ω}	$0^{\mu F},1$	$158^{\mu F}$	$0^s,87$	2500	60.000	Marseille-Alger. Marseille-Constantine par retransmission à Alger.
1880	48	63	10,61	488	5178	0,31	151	0,78	2750	75.000	Paris-Alger par retransmission à Marseille.
1892	48	63	10,68	598	6389	0,31	185	1,18	2000	75.000	Marseille-Oran.
1893	48	63	10,50	534	5593	0,31	166	0,92	2400	65.000	Marseille-Tunis par retransmission à Bizerte.
1913	59	59	8,75	481	4207	0,33	159	0,67	3100	80.000	Câble de secours pour toutes les autres communications. Paris-Alger, par retransmission à Marseille. Marseille-Alger-Oran, par retransmission à Alger. Marseille-Alger-Constantine-Tunis, par retransmission à Alger et à Constantine.

(1) On entend par *signal élémentaire* chacune des émissions de courant de l'appareil Belz et Brahic.

(2) On prend, comme valeur moyenne du mot, l'ensemble de cinq lettres (de quatre signaux) et d'un espace, toujours à l'appareil Belz et Brahic, avec lequel les points et les traits de l'alphabet Morse se traduisent par des émissions de même durée.

BIBLIOGRAPHIE.

Printing Telegraph systems and mechanisms, par H. H. Harrison, A. M. I. E. E., membre de l'institution des ingénieurs pour la signalisation et les télécommunications des chemins de fer. Ouvrage enrichi de 642 diagrammes. London, Longmans, Green and Co, 1923.

Cet ouvrage fait partie des *Manuals of telegraph and telephone engineering*.

Il est précédé d'une table des matières par chapitres et suivi d'un important index alphabétique.

Le plan est bien différent de celui des ouvrages français. En général, les ouvrages édités en France ne sont en réalité que la reproduction des cours professés à certaines catégories du personnel de l'administration des Postes et Télégraphes. Leur but originel est donc la formation des agents de l'exploitation : les divers cours se divisent en cours élémentaires faits aux monteurs du service téléphonique et en cours supérieurs ; ceux-ci eux-mêmes s'adressent ou bien aux agents mécaniciens (et ils sont alors professés aux ateliers du boulevard Brune), ou bien aux commis (et ils ont lieu alors auprès des bureaux les plus importants), ou bien encore aux rédacteurs élèves et aux élèves-ingénieurs (et ils font alors partie de l'enseignement organisé à l'École professionnelle supérieure). Il est clair que, dans la plupart des cas que nous venons d'envisager, ce qui importe, c'est de fournir aux auditeurs les renseignements les plus précis, les plus minutieux sur le fonctionnement des appareils en usage dans l'administration des Postes et Télégraphes ; et, comme cette administration a le monopole du télégraphe, le nombre des types d'appareils qu'elle peut adopter est relativement assez restreint. Le champ de l'étude se trouve alors très étroitement circonscrit et ce n'est que dans les cours de l'École supérieure que l'on a quelques descriptions sommaires des appareils employés à l'étranger. L'auteur des livres fran-

çais hésite à entrer dans les détails d'un système qu'il n'a pas eu à pratiquer lui-même et il se borne en général à retracer, à grands traits, les principes de ceux de ces appareils qui ont été pendant un temps plus ou moins long en service à titre d'essai dans les bureaux de l'administration : c'est ce qui a eu lieu pour le Rowland et le Pollak Virag. On trouvera en revanche peu de renseignements sur le quadruple, le Siemens, le relais Gulstad ; et il ne sera guère fait mention des divers relais de câble : le drum-relay, le jockey-relay, l'amplificateur Heurtley, l'amplificateur Orling, le relais à tige plongeante dans une résistance électrolytique, ou sur les autres dispositifs utilisés plus particulièrement dans la télégraphie sous-marine. La raison en est que ce n'est pas l'État qui exploite les câbles de grande longueur, et que les compagnies sont très réservées sur leurs procédés d'exploitation. D'autre part, la répartition des attributions est telle que la plupart du temps, les ingénieurs sont tenus à l'écart de la télégraphie et doivent consacrer toute leur activité à la téléphonie et à la construction des lignes. Il résulte de cette situation de fait, que les traités français de télégraphie, même lorsqu'ils ont été rédigés par d'anciens professeurs à l'École supérieure des Postes et des Télégraphes, présentent de graves lacunes et, dans tous les cas, se bornent aux combinaisons mécaniques qui ont été effectivement mises en service pratique ; ils ignorent ce qui n'a pas paru dans les bureaux télégraphiques d'État ; le Buckingham est à peine mentionné ; l'admirable appareil Wright, employé par l'agence Havas pour les communications de bourse dans les banques, n'est décrit nulle part, et les perfectionnements si judicieux que M. Nigron a apportés au transmetteur ne sont guère connus que de ses amis.

En un mot, notre littérature est une littérature de faits et de documents, mais ce n'est pas une littérature de conceptions et d'idées. Du moins, c'est l'impression générale que j'en ai tirée.

Peut-être que, si l'on me poussait un peu, je serais obligé de concéder que je vais trop loin ; on me citerait l'ancien livre de M. Bontemps, celui de M. Mercadier, les principes de télécommunication d'Estaunié, le traité de Thomas, le cours de Bazille, des articles épars d'Ailho de Rambaud, de Barbarat, de Magunna, les ouvrages de Faivre, de Caminade, de Montoriol, de Raynaud-Bonin, les travaux

des Dubreuil, des Carrat et surtout l'admirable enseignement de Baudot et les non moins géniales inventions du si regretté Picard. Néanmoins je déplore qu'il n'y ait pas en France un livre comme celui de M. Harrison. Il semble que, dans cet ouvrage, les mécanismes ou les systèmes ne soient pas décrits seulement à cause de leur succès, mais que l'on n'ait voulu leur reconnaître le droit à être signalés que dans leur ingéniosité même. C'est qu'en effet un procédé abandonné un jour est bien souvent susceptible d'être repris plus tard, quand une autre branche de la technique a progressé à son tour. C'est ainsi qu'on reprend aujourd'hui la roue phonique de La Cour et de lord Rayleigh. Le régulateur isochrone de Koch n'a été abandonné qu'à cause de son prix. Sous sa dernière forme, il ne présentait aucune imperfection mécanique. Qui peut dire qu'il ait disparu pour toujours ? L'embrayage Audu pour le Hughes n'est plus employé, c'est pourtant à juste titre qu'on le retrouve dans le livre de M. Harrison. Je ne sais si le système flip = flap de Smith et Harrison ou celui de Kleinschmidt ont reçu de grandes applications, mais cette manière de s'envoyer alternativement lettre pour lettre comme dans un jeu de volant, constitue une méthode bien originale de duplexage, que tout Français lira avec curiosité et intérêt.

Dans cet ouvrage, toute l'exposition est bien anglaise, j'entends par là qu'elle est de la plus extrême simp licité et que tout y parle aux yeux. C'est un livre vivant, sans bagage inutile qui en alourdisse la marche. Je crois qu'il était nécessaire de le signaler aux lecteurs français : il ouvre des idées ; il s'adresse aux inventeurs, non aux manipulants ; ou bien de ceux-ci, il fera des inventeurs ou tout au moins des chercheurs.

Sans doute, il ne faut pas demander à ce livre ce qu'il ne oontient pas : on n'y trouvera pas par exemple le Heurtley amplifyer, ni les organes de commutation des bureaux, comme le multiple télégraphique de Purves, ni les procédés de boulisterie mécanique, ni bien d'autres détails fort intéressants ; mais il est clair que la télégraphie toute entière ne tient pas dans un seul volume. Il nous suffira d'avoir signalé ce que nous croyons être son véritable caractère et son originalité certaine.

En somme, c'est un essai de classification de toutes les grandes

inventions télégraphiques. Nul d'entre nous, d'ailleurs, qui ne soit touché du tribut d'hommages si cordialement payé par l'auteur à Baudot et à Picard.

Nous croyons que le moment approche, où les problèmes qui se posent en télégraphie et en téléphonie, seront groupés par matière, et, dans chaque matière, suivant leur ordre de complexité et d'enchaînement logique, au lieu d'être réunis en vue de l'application qui en est faite, de sorte que le classement se fera conformément à des principes directeurs et non sous l'influence des causes finales. C'est ainsi que les questions de géométrie descriptive, par exemple, s'ordonnent d'après la difficulté croissante et que les applications se subordonnent aux théories. On ne demandera plus aux élèves que l'on interroge comment est fait tel ou tel appareil plus ou moins en vogue, mais quelles solutions ils proposeraient pour obtenir tel ou tel résultat élémentaire envisagé à titre d'exercice. Mais alors la télégraphie cessera d'être un art ou une technique, pour devenir une science.

Le Gérant,

LÉON EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

[illegible] ANNÉE. — N° 3. MARS 1925. PRIX : 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE.
3 RUE THÉNARD. PARIS. V^e.

Prix de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger......... 44 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

AVIS

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une Commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette Commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VII[e].

Membres de la Commission:

M. Pomey, Professeur à l'École Supérieure, Inspecteur général des Postes et Télégraphes, Président.

M. A. Blondel, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Le Général Ferrié, Membre de l'Institut, Inspecteur Général de la Télégraphie Militaire, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

M. Abraham, Professeur à la Sorbonne, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

M. Gutton, Professeur à la Faculté des sciences de Nancy, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

Les Directeurs du Personnel, de l'Exploitation Télégraphique et de l'Exploitation Postale à l'Administration centrale des Postes et Télégraphes.

M. Milon, Professeur à l'École Supérieure, Directeur de l'Exploitation Téléphonique.

M. Ferrière, Professeur à l'Ecole Supérieure, Inspecteur Général des Postes et Télégraphes

M. Augier, Inspecteur Général des Postes et Télégraphes.

M. Diano, Directeur des Postes et Télégraphes.

M. Saunier, Chef de bureau à l'Administration centrale des Postes et Télégraphes.

M. Reynaud-Bonin, Professeur à l'École Supérieure, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes.

M. Valensi, Professeur à l'École Supérieure, Ingénieur des Postes et Télégraphes.

MM. Taffin, Directeur des Postes et Télégraphes ; Cauchie, Inspecteur des Postes et Télégraphes, et Lavoignat, Contrôleur des Postes et Télégraphes, Secrétaires

M. Pauly, Rédacteur des Postes et Télégraphes, Secrétaire adjoint.

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

MESURE ÉLECTROMÉTRIQUE
DES FAIBLES DIFFÉRENCES DE POTENTIEL ALTERNATIVES,

Par C. GUTTON,
Professeur à la Faculté des Sciences de Nancy,
et G. LAVILLE,
du Centre d'études de la marine à Toulon.

Les différences de potentiel efficaces entre les extrémités des enroulements parcourus par des courants téléphoniques n'atteignent pas, en général, le volt. Nous avons construit un électromètre idiostatique capable de les mesurer pour des courants peu différents de ceux qui traversent les appareils lorsqu'ils sont en service.

Cet électromètre est à peu près semblable à ceux qui servaient à Bjerkness au cours de ses recherches bien connues sur l'amortissement du résonateur de Hertz.

Il est constitué par une aiguille d'aluminium très mince suspendue par un fil de quartz entre deux plateaux métalliques. Lorsqu'on établit une différence de potentiel alternative entre ces derniers, l'aiguille dévie de l'angle pour lequel le couple de torsion du fil de suspension est égal au couple produit par les attractions électriques. Ce couple est proportionnel au carré de la différence de potentiel efficace.

Nous décrirons l'un des modèles que nous avons réalisé et dont nous avons étudié le fonctionnement en le faisant servir à des mesures de résistance apparente et d'inductance d'un récepteur téléphonique et d'une bobine d'induction.

L'aiguille est une bande rectangulaire (fig. 1 et 2) découpée dans le mince papier d'aluminium qui sert couramment à la construction des condensateurs. Elle a 5^{mm} de hauteur et 15^{mm} de longueur. Ses extrémités sont repliées à angle droit, en sens

inverses, sur une longueur de 3mm. Elle est collée sur une fine tige de verre ou de quartz, qui porte à sa partie inférieure un petit miroir plan découpé dans un couvre-objet de microscope argenté. Elle est suspendue, par un fil de quartz de 40mm de de longueur et 3 microns environ de diamètre, entre deux pla-

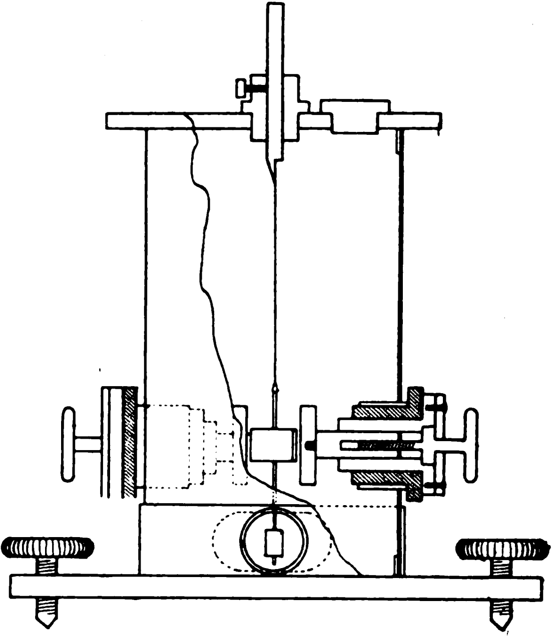


Fig. 1.

eaux carrés en aluminium ayant 15mm de côté. L'aiguille, le miroir et la tige de verre sur lesquels ils sont fixés ne pèsent au total que 15 milligrammes.

Parmi toutes les formes d'aiguille que nous avons essayées, c'est celle que représente la figure 2 qui nous a donné, pour une orientation convenable, la meilleure sensibilité. Celle-ci correspond à une légère inclinaison des parties recourbées sur les plaques fixes. Lorsqu'on établit une différence de potentiel entre ces dernières, l'aiguille tourne dans le sens opposé à celui qu'indiquent ses extrémités.

L'électromètre est enfermé dans une boîte cylindrique en laiton. Le fil de quartz est suspendu à une tige dont l'extrémité est

taillée en pointe et dont il est possible de régler la hauteur. La tige est immobilisée par une vis dans un bouchon en laiton que l'on tourne pour donner à l'aiguille l'orientation convenable.

Une lentille convergente d'une demi-dioptrie sert à projeter, sur une règle divisée, après réflexion par le miroir fixé à l'aiguille, l'image d'un filament de lampe à incandescence sur une règle divisée disposée à 2 mètres environ de l'électromètre.

Afin de pouvoir, après réglage de l'orientation de l'aiguille,

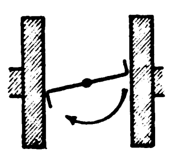


Fig. 2.

faire en sorte que le faisceau lumineux reste à peu près parallèle à l'axe de la lentille, celle-ci ferme une ouverture d'un centimètre de diamètre percée dans un anneau en laiton qui entoure la boîte cylindrique de l'électromètre et peut tourner autour de son axe. Un trou plus large est percé derrière l'anneau, dans la paroi de la boîte.

Une ouverture, qui peut être fermée par un bouchon, est percée dans le couvercle et sert, en éclairant à travers la lentille, à voir l'aiguille pour lui donner, avant un réglage plus précis et par une rotation de la tige à laquelle elle est suspendue, l'orientation convenable.

La distance des plateaux à l'aiguille peut être ajustée au moyen de mouvements commandés par des vis.

Deux bornes, isolées du socle de l'appareil, sont réunies aux plateaux. Lorsqu'on se sert de l'électromètre réglé pour une très grande sensibilité, il est nécessaire de mettre l'un des plateaux en communication avec le sol.

Pour régler l'électromètre, on établit une différence de potentiel d'environ un volt entre les plateaux et on les approche avec précaution de l'aiguille jusqu'à obtenir la sensibilité convenable. On cherche aussi l'orientation la plus favorable à donner à l'aiguille.

A cause des mouvements de l'air dans le petit espace entre l'aiguille et les plateaux, l'amortissement des mouvements de l'aiguille augmente beaucoup en même temps que croît la sensibilité. On pourrait réaliser un appareil à indications rapides en l'installant sous une cloche dans laquelle on réduirait la pression.

Le fil de quartz est obtenu facilement en étirant des fragments de baguettes ou de tubes de quartz dans la flamme du gaz d'éclairage soufflée par de l'oxygène. Après quelques essais, on apprécie facilement la grosseur du fil qui convient. On fixe le fil de quartz à son support et à l'aiguille avec un peu de gomme laque fondue. On arrive à obtenir une sensibilité qui correspond à une déviation, sur la règle divisée, de 100^{mm} pour un volt Les déviations étant à peu près proportionnelles au carré de la différence de potentiel, le demi-volt ne correspond plus qu'à 25 millimètres.

Le zéro de l'appareil est très stable lorsque l'aiguille, suspendue depuis quelque temps, a perdu les faibles charges qu'elle avait pu acquérir lors de la mise en place de l'équipage mobile. La forme adoptée pour l'aiguille lui permet de grands déplacements angulaires sans qu'elle vienne en contact avec les plateaux. Elle atteint une position d'équilibre stable, même lorsque la différence de potentiel a été accidentellement beaucoup trop grande. Au cours des mesures, l'aiguille ne se charge donc pas par suite d'un contact avec les plateaux. Une charge de l'aiguille produit un déplacement du zéro.

Si l'aiguille était exactement au potentiel du sol et de la boîte, les indications de l'électromètre seraient égales pour deux différences de potentiel constantes, égales mais de sens contraires. On observe des inégalités, qui tiennent à la différence électrique entre les métaux non identiques, qui forment l'aiguille et les plateaux. Afin d'éliminer l'erreur qui pourrait en provenir, nous étalonnons l'électromètre en courant alternatif à 50 périodes.

Nous faisons passer un courant dans un fil de maillechort assez long pour que la différence de potentiel entre ses extrémités puisse être mesurée avec un voltmètre électrodynamique et nous mettons l'électromètre en relation avec deux points du fil séparés par une longueur connue.

L'électromètre dévie de 100 à 200^mm^ lorsque, l'ayant réuni au secondaire de la bobine d'induction d'un appareil téléphonique, on cause devant le microphone.

Pour étudier le fonctionnement de l'électromètre, nous avons fait des mesures de résistance et d'inductance d'enroulements par le procédé suivant. La bobine, mise en série avec une résistance ohmique R, est parcourue par un courant alternatif. Nous

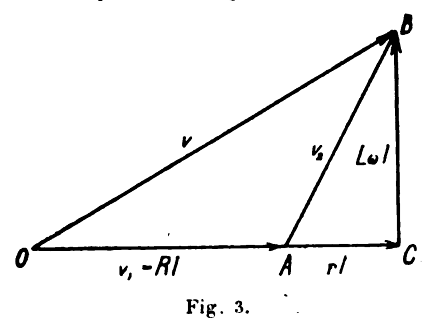


Fig. 3.

l'obtenons en couplant, avec un oscillateur à lampes, une bobine d'un très grand nombre de spires intercalée sur le circuit. Nous faisons passer le courant dans un téléphone et déterminons la fréquence en accordant le son qu'il rend sur celui d'un diapason faisant 896 vibrations doubles par seconde ; l'accord s'obtient en enfonçant un faisceau de fils de fer dans la bobine de l'oscillateur. Nous mesurons avec l'électromètre la différence de potentiel V_1 aux bornes de l'enroulement, la différence de potentiel V_2 aux bornes de la résistance ohmique et la différence de potentiel résultante V aux bornes de l'ensemble.

Nous construisons le triangle OAB (fig. 3), dont les côtés représentent les différences de potentiel efficaces mesurées ; puis, en menant du point B la perpendiculaire OA, nous obtenons le triangle ABC dont les côtés AC et CB sont respectivement la chute ohmique de tension rI dans l'enroulement et la force électromotrice d'induction $L\omega I$. L'intensité I du courant est déterminée par la connaissance de la chute ohmique de tension RI le long de la résistance R.

Le circuit a un point au sol par l'une des bornes de l'électromètre; il est, d'autre part, partiellement au sol par la capacité assez

grande entre la bobine de l'oscillateur et la bobine qui le couple à cet oscillateur et par les batteries d'accumulateurs des circuits de la lampe.

Nous avons toujours directement réuni la borne de l'électromètre au sol à la bobine de couplage avec l'oscillateur. Le circuit n'a ainsi qu'un point en relation avec la terre.

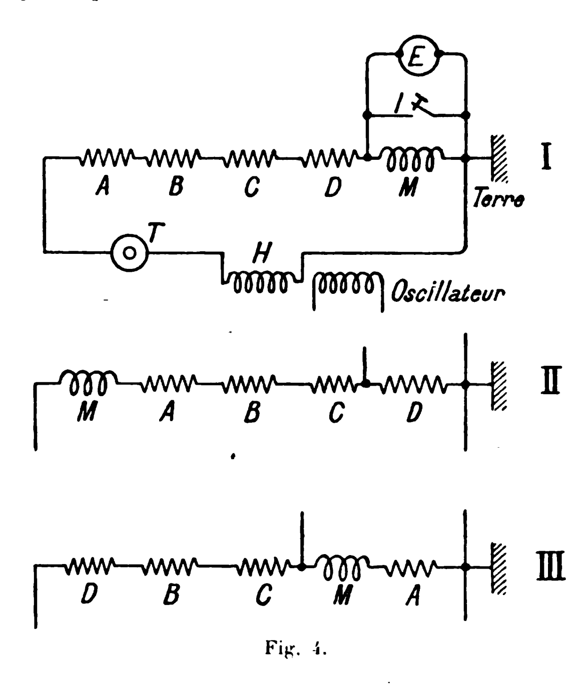


Fig. 4.

Au lieu d'avoir recours, pour une mesure de résistance ou d'inductance, à la courbe d'étalonnage, il est préférable d'employer une méthode potentiométrique qui ne fait intervenir cet étalonnage que dans la détermination de l'intensité du courant. Cette dernière mesure est d'ailleurs utile, car les enroulements, bobinés sur des noyaux de fer, ont une résistance apparente et une inductance qui dépendent de cette intensité et les résultats des mesures ne sont utilisables que si le courant pour lequel elles ont été faites diffère peu de celui qui parcourt l'enroulement lorsqu'il est en service normal ; c'est là la raison de la nécessité, en téléphonie, d'appareils de mesure sensibles.

Nous disposons, sur le même circuit, la bobine de couplage H (fig. 4) à l'oscillateur, un téléphone T destiné, par comparaison de la hauteur du son qu'il rend avec le son d'un diapason, à la mesure de la fréquence, quatre boîtes de résistances identiques A, B, C, D, de 10.000 ohms, et l'enroulement M à étudier.

Une clef I sert à mettre l'électromètre en court-circuit pour obtenir son zéro. Un commutateur facile à imaginer permet de grouper les résistances et la bobine suivant les schémas I, II et III de la figure 4. Pour la raison que nous avons indiquée, la borne à la terre de l'électromètre E est toujours celle qui est directement réunie à l'oscillateur. La manœuvre du commutateur peut faire passer rapidement, soit de la disposition I à la disposition II, soit de la disposition II à la disposition III.

Ayant débouché toutes les fiches A et C, B et D étant au contraire en court-circuit, on met le commutateur sur la position I ; on observe la déviation de l'électromètre ; on passe sur la position II et l'on détermine quelle est la résistance de la boîte D qui est nécessaire pour que la déviation reste la même. Afin de ne pas modifier l'intensité du courant, on conserve toujours une impédance constante au circuit, en supprimant sur C les résistances que l'on est amenée à introduire en D.

La valeur R, ainsi déterminée pour D, est une résistance égale à l'impédance de l'enroulement.

Ceci étant, on passe à la disposition III, pour laquelle on donne à la boîte A la résistance trouvée R en y reportant les fiches de B à la disposition II et on règle D à la résistance R′ pour laquelle l'électromètre conserve la même déviation ; on a toujours soin de conserver au circuit une résistance constante. On a ainsi mesuré une résistance R′ égale à l'impédance de l'ensemble de la résistance R et de la bobine M.

Comme l'intensité I n'a pas changé, les côtés OA et AB du triangle OAB de la figure 3 sont tous deux proportionnels à R, tandis que OB est proportionnel à R′. En construisant ce triangle, puis le triangle ACB, on trouve en AC la résistance apparente cherchée et en BC l'inductance.

La valeur en volts des différences de potentiel aux bornes des

résistances ohmiques R ou R′ donne l'intensité du courant pour lequel la mesure a été faite.

Par cette méthode, nous avons trouvé, pour un téléphone Brunet de 1.890 ohms de résistance en courant continu, une inductance de 4.050 ohms et une résistance apparente de 4.200 ohms. La fréquence étant 896, le coefficient de self-induction est $0,^{H}72$. Ces mesures ont été faites pour une intensité de $0,^{mA}24$.

Pour une intensité plus faible, $0,^{mA}17$, nous avons trouvé la même résistance mais un coefficient de self-induction plus faible : $0,^{H}62$.

Pour cette dernière intensité, en enlevant la plaque vibrante, la self $0,^{H}63$ a peu changé, mais la résistance est devenue 3.650 ohms seulement.

Nous avons aussi déterminé par ce procédé la self-induction et la résistance du secondaire de la bobine d'induction d'un poste téléphonique.

La résistance en courant continu était de 156 ohms. Pour une intensité de $0,^{mA}17$, nous trouvons un coefficient de self-induction de $0,^{H}41$, et une résistance apparente de 2.300 ohms.

On peut mesurer par le même procédé la capacité d'un condensateur ; mais, pour obtenir aux armartures d'un microfarad une différence de potentiel mesurable, il faut un courant plus intense.

L'électromètre a l'avantage sur la soudure thermoélectrique d'avoir un étalonnage indépendant de la fréquence, même aux très hautes fréquences de la radiotélégraphie. Il n'introduit pas de résistance sur les circuits et peut avoir une capacité très faible. Lorsqu'on l'emploie en haute fréquence, une sensibilité plus faible suffit souvent ; on peut alors enfermer l'aiguille dans une cage non-conductrice, pour éviter des pertes par courants de Foucault, et ne pas mettre l'un des plateaux à la terre. On s'en sert utilement, par exemple, pour tracer la courbe de résonance d'un circuit oscillant et en déduire la résistance en haute fréquence. Lorsque le circuit est peu résistant son usage est indiqué, car il n'introduit pas, comme la soudure thermoélectrique, une résistance supplémentaire et mal connue du même ordre de grandeur

que celle qu'il s'agit de mesurer. D'autre part il n'oblige pas à attacher au circuit oscillant des fils allant à un galvanomètre, comme c'est le cas pour la soudure thermoélectrique.

Sa grande sensibilité permet de très faibles couplages avec l'oscillateur; c'est là une condition nécessaire à une bonne mesure de résistance par la courbe de résonance.

L'électromètre peut servir aussi à mesurer la force électromotrice induite à la résonance dans un cadre de résistance connue et à déterminer par suite la valeur du champ électromagnétique d'une antenne. Beaucoup moins sensible que le voltmètre amplificateur, il a toutefois l'avantage d'un étalonnage en volts facile et valable pour toute fréquence. Il donne en volts la différence de potentiel efficace pour une forme quelconque de l'oscillation.

LES PRINCIPES DE L'ÉLECTROSTATIQUE ET LEUR EXPRESSION TENSORIELLE

Par J.-B. POMEY,
Inspecteur Général des Postes et Télégraphes.

INTRODUCTION GÉOMÉTRIQUE.

L'utilité d'un exposé des principes de l'électrostatique, différent de l'exposé classique, ne se justifie que par le besoin de préciser la nature intime des grandeurs électriques, en tenant compte des observations des relativistes. Notre but est de donner des définitions et les énoncés des lois fondamentales sous une forme indépendante du système de coordonnées. Ce désir ne s'explique que dans le cas où l'on envisage la géométrie elle-même comme une branche de la physique et où l'on suppose que l'espace ne se comporte pas de la même façon loin de toute matière ou dans un champ intense de gravitation.

Imaginons que des géodésiens qui se figurent que la Terre a une surface plane fassent les opérations suivantes : ils vont déplacer un vecteur parallèlement à lui-même, ils partent du pôle nord, le vecteur étant dirigé vers le sud, ils transportent le point d'application du vecteur le long d'un méridien, le vecteur pointe toujours vers le sud en restant dans le plan tangent à la surface de la Terre. Une fois arrivés à l'équateur, ils suivent l'équateur, le vecteur formant toujours un angle droit avec le chemin parcouru pendant ce trajet. Enfin, ils reviennent au pôle en suivant un méridien distinct du premier et le vecteur est alors toujours couché tangentiellement à ce méridien. Pendant ces divers voyages, les expérimentateurs, s'étant déplacés sur des portions de grands cercles, qui sont des lignes de plus court chemin d'un point à un point voisin, ont conscience d'avoir toujours suivi la ligne droite. Or, quand ils sont de retour au pôle nord, ils constatent

que leur vecteur a une direction finale distincte de sa direction initiale, bien qu'ils aient eu soin de le déplacer toujours parallèlement à lui-même. Leur étonnement sera grand ; le résultat obtenu contre leur attente leur prouvera que la surface de la Terre a une courbure et les mathématiciens diront que le déplacement parallèle infinitésimal s'exprime par des expressions qui ne sont pas intégrables.

Alors la question se pose de savoir si l'espace à trois dimensions lui-même ne jouirait pas d'une propriété semblable à cette courbure et s'il ne serait pas possible qu'en certaines régions, le déplacement parallèle d'un vecteur fût un processus non intégrable.

Un problème analogue concerne le transport des longueurs. Imaginons que l'on prenne comme étalon de longueur le rayon d'un ballon de caoutchouc gonflé par un gaz et qu'on opère au sein d'une masse liquide pesante. Prenons le rayon comme étalon de longueur. Quand le ballon sera près de la surface libre, le rayon sera en réalité plus grand que lorsque le ballon se trouvera dans les profondeurs. A vrai dire, cette variabilité de l'étalonnage en chaque point ne constituerait pas pour le mathématicien une bien grosse complication, car il suffirait de multiplier la longueur par une fonction bien définie du lieu d'observation pour retrouver un étalon de longueur invariable. Mais on pourrait imaginer des actions physiques telles, que le ballon ne reprît pas le même volume quand on le ferait revenir au même point après des parcours différents. La longueur, en ce cas, serait soumise à des variations dont l'expression différentielle ne serait pas intégrable.

Ces exemples montrent que nous voulons délibérément adopter un point de vue plus général que celui de la géométrie classique.

Il est bien certain cependant que les géodésiens dont nous avons parlé, il y a un instant, n'auraient pas commis d'erreur sensible si, au lieu de promener leur vecteur sur une partie notable de la surface de la Terre, ils s'étaient contentés d'un parcours restreint que l'on aurait pu considérer comme effectué dans le plan tangent.

C'est cette idée qui doit servir de guide. Les propriétés parti-

culières que nous attribuons à l'espace dans la géométrie classique, nous continuerons à les considérer comme valables, mais à la condition d'en restreindre l'application à un domaine infiniment petit.

Par exemple, si nous envisageons la sphère de rayon un et le point de colatitude θ_0 et de longitude φ_0, le carré de la distance élémentaire de deux points infiniment voisins est donné par la formule

$$ds^2 = \sin^2 \theta_0 . \, d\varphi^2 + d\theta^2$$

de sorte que si l'on pose :

$$dx = \sin\theta_0 \, d\varphi \qquad dy = d\theta$$

on continuera à avoir, comme dans le plan, le théorème de Pythagore

$$ds^2 = dx^2 + dy^2.$$

Mais cette formule ne peut être étendue à toute la surface de la sphère. On sait, en effet, que la sphère et le plan ne sont pas deux surfaces applicables l'une sur l'autre.

Il est donc important de se rendre compte des hypothèses qui sont impliquées dans l'énoncé des diverses lois de la physique, de façon à savoir par exemple si elles dépendent des propriétés métriques de l'espace ou si elles ne font appel qu'aux principes de la géométrie affine

Il nous faut donc expliquer maintenant la différence qui existe entre les propriétés affines et les propriétés métriques.

Pour ne pas augmenter démesurément cet article, nous serons obligé de nous borner à des indications sommaires.

Propriétés affines.

Pour construire la géométrie euclidienne, on établira la notion de translation, on en déduira la génération de la ligne droite et du plan. On définira les équipollences. On composera et l'on décomposera les vecteurs. On pourra prendre comme système fondamental de référence trois vecteurs quelconques non situés dans un même plan. On apprendra à passer d'un système

fondamental à un autre. Et l'on pourra échafauder sur ces propriétés une géométrie qui ne fera jamais intervenir de mesures d'angle ou de longueur. On dira alors que l'on reste dans le domaine de la géométrie affine. Si, au contraire, on faisait intervenir la notion de grandeur d'angles ou la comparaison entre les longueurs de segments diversement orientés, on introduirait les propriétés métriques.

Les propriétés affines sont intimement liées à la considération des transformations linéaires.

Pour déterminer une transformation linéaire, il suffit de connaître les transformés $O'A'B'C'$ de quatre points arbitraires $OABC$, les quatre points donnés n'étant pas dans un même plan, non plus que les quatre points transformés. Pour que deux points M et M' se correspondent par la transformation, il faut et il suffit que l'on ait simultanément :

$$(1) \qquad OM = x.\,OA + y.\,OB + z.\,OC$$
$$OM' = x.\,O'A' + y.\,O'B' + z.\,O'C'$$

Les transformations linéaires forment un groupe, c'est-à-dire que si les points

$$O'\ A'\ B'\ C'\ M'$$

proviennent des points

$$O\ A\ B\ C\ M$$

par une transformation linéaire ; et si les points

$$O''\ A''\ B''\ C''\ M''$$

proviennent des points

$$O'\ A'\ B'\ C'\ M'$$

par une seconde transformation linéaire, il y aura une troisième substitution linéaire, par laquelle les points

$$O''\ A''\ B''\ C''\ M''$$

proviendront des points

$$O\ A\ B\ C\ M$$

Les égalités (I) ont un rôle prépondérant : elles entraînent l'invariance de toute propriété linéaire pour une transformation linéaire quelconque. Et la géométrie affine sera constituée

par l'ensemble de toutes les propriétés qui sont invariantes pour les transformations du groupe linéaire.

Théorie des vecteurs.

Occupons-nous maintenant de la notion de vecteur et imaginons un espace à q dimensions. Il est intéressant de ne pas limiter le nombre q à trois unités, car dans les théories relativistes l'univers est une multiplicité à quatre dimensions, la quatrième étant le temps, lequel, il est vrai, se distingue des autres dimensions par des caractères particuliers, dons nous nous bornons à indiquer l'existence.

La doctrine de cet espace à q dimensions tient à peu près dans les propositions suivantes :

Un vecteur à q dimensions est défini par ses q composantes

$$a : a_1, a_2, \dots a_q$$

A chaque point d'un espace à q dimensions, l'on fait correspondre d'une façon biunivoque un vecteur dont les composantes sont les coordonnées du point.

Si a est un vecteur de composantes $a_1, a_2, \dots, a_q$ et si λ est un nombre arbitraire, on désigne par λa le vecteur dont les composantes sont $\lambda a_1, \lambda a_2, \dots, \lambda a_q$; de plus, $-a$ est le vecteur de composantes $-a_1, -a_2, \dots, -a_q$.

Par l'expression somme $a + b$ de deux vecteurs

$$a : a_1, a_2, \dots, a_q$$
$$b : b_1, b_2, \dots b_q$$

l'on entend le vecteur qui a pour composantes :

$$(a_1 + b_1), (a_2 + b_2), \dots, (a_q + b_q)$$

Deux vecteurs a et b sont égaux, si leurs composantes de même nom coïncident

$$a_k = b_k \quad (k = 1, \dots, q)$$

Ces équations constituent des conditions à la fois nécessaires et suffisantes.

Un vecteur est nul si toutes ses composantes sont nulles et seulement alors.

Un système linéaire est un ensemble L de vecteurs qui possède les propriétés suivantes :

Si le vecteur a appartient à ce système linéaire et que λ désigne un nombre quelconque, λa appartiendra aussi au système.

Si les vecteurs a et b appartiennent à L, le vecteur $a + b$ y appartient aussi.

Si $a_1, a_2, \ldots, a_p$ sont des vecteurs quelconques, que nous pouvons supposer tous différents de zéro, sans diminuer la généralité, l'ensemble des vecteurs de la forme

$$\lambda_1 a_1 + \lambda_2 a_2 + \ldots + \lambda_p a_p$$

constitue un système linéaire, le plus petit de ceux qui comprennent $a_1, a_2, \ldots, a_p$.

p vecteurs $a_1, a_2, \ldots, a_p$ sont dits linéairement indépendants, s'il n'est pas possible de satisfaire à l'équation

$$\lambda_1 a_1 + \lambda_2 a_2 + \ldots + \lambda_p a_p = o$$

sans que tous les λ s'évanouissent.

Les p vecteurs ne sont pas indépendants si l'un d'eux est nul.

Si p vecteurs ne sont pas indépendants, le système linéaire L $(a_1, a_2, \ldots a_p)$ que l'on peut construire sur eux se réduit à un système linéaire

$$L\ (b_1,\ b_2, \ldots,\ b_r)$$

construit sur un certain nombre r de vecteurs indépendants.

On appelle ***base*** ou système fondamental d'un système linéaire la collectivité constituée par r vecteurs linéairement indépendants sur lesquels le système linéaire est construit.

Si $b_1, b_2, \ldots, b_r$ est une base du système linéaire L $(b_1, b_2, \ldots, b_r)$, la condition nécessaire et suffisante pour que le vecteur a appartienne à ce système linéaire, c'est qu'il existe une relation linéaire entre les vecteurs $a, b_1, b_2, \ldots, b_r$.

Si un système linéaire L $(a_1, a_2, \ldots, a_r)$ contient r vecteurs $b_1, b_2, \ldots, b_r$, linéairement indépendants, ces vecteurs $b_1, b_2, \ldots, b_r$ forment une base du système linéaire.

Entre $(r + 1)$ vecteurs quelconques pris dans le système

linéaire $L(a_1, a_2, \ldots, a_r)$ qui est construit sur r vecteurs, il y a toujours une relation linéaire.

Toutes les bases comprennent le même nombre de vecteurs.

Dans un espace à q dimensions, il n'y a qu'un seul système linéaire de dimension q et ce système comprend tous les vecteurs de l'espace considéré.

Un vecteur quelconque **X** s'exprime, en effet, linéairement en fonction des q vecteurs unités :

$$\begin{array}{l} e_1 : 1, 0, 0, \ldots, 0 \\ e_2 : 0, 1, 0, \ldots, 0 \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ e_q : 0, 0, 0, \ldots, 1 \end{array}$$

Ces q vecteurs sont indépendants linéairement, mais entre $(q+1)$ vecteurs quelconques il y a toujours une dépendance linéaire. Si alors $b_1, b_2 \ldots b_q$ sont des vecteurs quelconques linéairement indépendants, ils forment une base du système qui est construit sur $e_1, e_2, \ldots, e_q$ et l'on a :

$$L(b_1, b_2, \ldots b_q) = L(e_1, e_2, \ldots, e_q).$$

Nous sommes alors en mesure de montrer que tout système linéaire L de l'espace à q dimensions peut être construit sur un nombre de vecteurs linéairement indépendants au plus égal à q.

En effet, ou bien L ne consiste qu'en un seul vecteur évanouissant ou bien il contient un vecteur a_1, différent de zéro. Dans ce dernier cas, ou bien l'on a :

$$L \equiv L(a_1)$$

ou bien il contient un vecteur a_2 linéairement indépendant de a_1. Dans ce cas, on a

$$L \equiv L(a_1, a_2)$$

ou bien il y a un vecteur a_3 indépendant de a_1, et de a_2. En continuant de cette manière et mettant à profit le fait qu'entre $(q+1)$ vecteurs de l'espace, choisis à volonté, il y a une relation linéaire, l'on voit que le nombre des possibilités à envisager

pour L est fini et que par conséquent ou bien qu'il n'y a dans L aucun vecteur différent de zéro, ou bien que l'on a :

$$L \equiv L(a_1, a_2, \ldots a_r)$$

où le nombre r est inférieur à q (1).

Coordonnées Riemanniennes.

Pour élucider cette notion de vecteur, expliquons tout d'abord ce que c'est qu'un vecteur dans un espace à deux dimensions; par exemple, nous pourrons nous représenter cette multiplicité comme constituée par les divers points d'une surface courbe.

Chaque point est défini par deux paramètres, que nous pouvons appeler x_1, x_2. Nous élargirons le sens du mot coordonnées en disant que x_1, x_2 sont les coordonnées du point M considéré.

Si la position du point M était définie paramétriquement par deux nouvelles variables $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$, nous pourrions de même considérer $\bar{x}_1, \bar{x}_2$ comme de nouvelles coordonnées. Pour passer d'un système de coordonnées à l'autre, on se donnerait les relations

$$x_1 = f_1(\bar{x}_1, \bar{x}_2)$$
$$x_2 = f_2(\bar{x}_1, \bar{x}_2)$$

et l'on supposerait que le déterminant fonctionnel est différent de zéro pour pouvoir résoudre le système, qu'on en déduit par différenciation.

Ce système sera de la forme :

$$\delta x_1 = \alpha^1_1 \ \delta\bar{x}_1 + \alpha^1_2 \ \delta\bar{x}_2$$
$$\delta x_2 = \alpha^2_1 \ \delta\bar{x}_1 + \alpha^2_2 \ \delta\bar{x}_2$$

le déterminant $|\alpha|$ étant différent de zéro.

δx_1, δx_2 représentent un déplacement infiniment petit du point M. Ce déplacement infiniment petit est par définition un vecteur; seulement c'est un vecteur infiniment petit. Parmi ces déplacements, considérons celui qu'on obtient en faisant varier

(1) Voir pour le développement de cette théorie les Vorlesungen über reelle Functionen du Dr Constantin Carathéodory (Teubner éditeur).

x_1 seulement ; si nous appelons δs_1, le vecteur correspondant, nous écrirons :

$$\delta s_1 = \delta x_1 . e_1$$

en appelant e_1 un facteur qui sert à caractériser la direction du déplacement. Si maintenant nous admettons qu'un vecteur est une quantité complexe dont les composantes sont proportionnelles à un déplacement possible infiniment petit, nous pourrons considérer e_1 comme un vecteur unité, savoir le vecteur

$$\frac{1}{\delta x_1} \delta s_1$$

Nous aurions de même à considérer un vecteur e_2 qui serait un vecteur unité proportionnel au déplacement δs_2 qu'on obtient en ne faisant varier que x_2, et cela d'une quantité infiniment petite δx_2.

Si nous faisons varier simultanément x_1 de δx_1 et x_2 de δx_2, nous aurons un déplacement δs, et le caractère vectoriel du déplacement résultera de ce que nous admettrons que l'on a alors

$$\delta s = e_1 \delta x_1 + e_2 \delta x_2.$$

Alors si nous nous reportons aux équations qui définissent le changement de coordonnées, nous aurons :

$$\delta s = (e_1 \alpha^1{}_1 + e_2 a^2{}_1) \delta \overline{x}_1 + (e_1 \alpha^1{}_2 + e_2 \alpha_2{}^2) \delta \overline{x}_2$$

Pour que le vecteur δs conserve un sens indépendant du système de coordonnées envisagé, il faut que nous puissions écrire :

$$\delta s = \bar{e}_1 \delta \overline{x}_1 + \bar{e}_2 \delta \overline{x}_2$$

en appelant $\bar{e}_1$ et $\bar{e}_2$ les deux vecteurs unités correspondant aux directions des déplacements $\delta \overline{x}_1$ et $\delta \overline{x}_2$. Un vecteur quelconque étant par hypothèse une grandeur finie proportionnelle à un déplacement possible infiniment petit quelconque sera de la forme

$$\mathbf{X} = \xi_1 e_1 + \xi_2 e_2$$

et aura un sens indépendant du système de référence considéré.

Un vecteur défini comme nous venons de le faire n'est défini

qu'au point M (x_1, x_2) ; et la formule qui nous donne **x** nous montre que le vecteur **x** engendre une multiplicité à deux dimensions. Si nous tenons à nous représenter la multiplicité primitive à deux dimensions comme une surface courbe plongée au sein de l'espace vulgaire à trois dimensions, nous voyons que le vecteur **x** engendre le plan tangent au point M.

Au lieu de considérer, comme nous l'avons fait, une multiplicité à deux dimensions, nous aurions pu considérer une multiplicité à q dimensions, déterminée par la connaissance de q paramètres x_1, x_2,. . . .x_q. Ces q paramètres nous auraient défini un point M de l'espace à q dimensions. Mais on peut changer de système de coordonnées et prendre pour nouvelles variables les paramètres $\bar{x}_1$, $\bar{x}_2$,. . .,$\bar{x}_q$, reliés aux premiers par des équations de transformation :

$$x_i = f_i(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_q)$$

lesquelles, différentiées, donnent :

$$\delta x_i = \sum_{k=1}^{k=q} \frac{\partial x_i}{\partial \bar{x}_k} \delta \bar{x}_k$$

On doit supposer, pour pouvoir les résoudre, que le déterminant fonctionnel est différent de zéro.

Nous appelons alors vecteur toute grandeur proportionnelle à un déplacement possible ; et nous définissons d'abord les vecteurs obtenus en ne faisant varier qu'un des paramètres ou, si l'on préfère ce terme, qu'une des coordonnées ; en ne faisant varier que x_1, on aurait alors le vecteur δs_1 correspondant au déplacement (δx_1, o, o,. . .,o) et le vecteur unité $\frac{1}{\delta x_1} \delta s_1$, qu'on pourrait appeler e_1.

Les autres vecteurs unités de base se définiraient de même. Le caractère vectoriel d'une grandeur se reconnaît à la possibilité de la représenter sous la forme

$$\mathbf{x} = \sum_k \xi_k e_k$$

Les formules de transformation relatives aux unités résultent de la condition que la quantité

$$\sum_k e_k \, \delta x_k$$

reste invariante.

La définition du vecteur est alors indépendante du choix des q vecteurs de base.

Mais cette définition n'est valable qu'au point M considéré. Autour de ce point, l'ensemble des vecteurs détermine un espace, où s'appliquent les propriétés de la géométrie affine, et qui est distinct de l'espace à q dimensions primitivement considéré ; il lui est, en quelque sorte, tangent.

On peut encore dire :

Soient dans un système de coordonnées x,

$$a : \quad a_1, a_2, \ldots, a_q$$

un certain vecteur a

Passons à un autre système de coordonnées $\bar{x}$, et soient, dans ce nouveau système,

$$a : \quad \bar{a}_1, \bar{a}_2, \ldots, \bar{a}_q$$

les nouvelles composantes du vecteur a.

On aura :

$$a_i = \sum_{k=1}^{k=q} \frac{\partial x_i}{\partial \bar{x}_k} \bar{a}_k$$

en vertu de la formule relative aux déplacements, et, si l'on passe à un troisième système de coordonnées $\bar{\bar{x}}$, on aura :

$$\bar{a}_k = \sum_{l=1}^{l=q} \frac{\partial \bar{x}_k}{\partial \bar{\bar{x}}_l} \bar{\bar{a}}_l$$

d'où :

$$a_i = \sum_{k=1}^{k=q} \frac{\partial x_i}{\partial \bar{x}_k} \sum_{l=1}^{l=q} \frac{\partial \bar{x}_k}{\partial \bar{\bar{x}}_l} \bar{\bar{a}}_l$$

Mais

$$\frac{\partial x_i}{\partial \bar{\bar{x}}_l} = \sum_{k=1}^{k=q} \frac{\partial x_i}{\partial \bar{x}_k} \frac{\partial \bar{x}_k}{\partial \bar{\bar{x}}_l}$$

d'où

$$a_i = \sum_{k=1}^{k=q} \frac{\partial x_i}{\partial \bar{\bar{x}}_k} \bar{\bar{a}}_k$$

de sorte qu'on obtient le même résultat en passant des coordonnées x aux coordonnées $\bar{x}$, puis de celles-ci aux coordonnées $\bar{\bar{x}}$ qu'en passant directement des premières x aux dernières $\bar{\bar{x}}$. C'est ce qui montre que la définition du vecteur est bien indépendante du choix que l'on a fait du système de coordonnées.

Connexion affine.

La notion du vecteur étant ainsi établie, il faut pour construire un édifice logique de la géométrie de l'espace à q dimensions, exprimer les dépendances mutuelles des points qui sont dans le voisinage les uns des autres. Il ne suffit pas de définir les vecteurs en un point, il faut encore savoir ce que devient un vecteur quand on le transporte d'un point O en un point voisin O′.

Pour éclairer la nature du problème, plaçons-nous dans le cas d'une surface courbe plongée dans l'espace à trois dimensions de la géométrie ordinaire classique. Imaginons un observateur qui chemine sur cette surface et veuille déplacer une aiguille parallèlement à elle-même. Admettons qu'il ne soit pas conscient de la courbure de cette surface et qu'il veuille opérer comme dans le plan. Pour aller du point O au point infiniment voisin O′, en ligne droite, il suivra le plus court chemin, c'est-à-dire une ligne géodésique ; il maintiendra l'aiguille dans le plan tangent et il aura soin qu'elle fasse toujours le même angle avec la ligne géodésique. Il transportera ainsi l'aiguille du point O au point O′ suivant un processus auquel il pourra légitimement donner le nom de déplacement parallèle.

Évidemment, si nous connaissons les propriétés métriques de la surface, nous pourrons déterminer les lignes géodésiques et le déplacement parallèle sera parfaitement précisé au sens où nous l'entendons maintenant.

Quelle que soit la métrique de l'espace réel à trois dimensions,

on pourrait imaginer qu'il est plongé dans un espace à un plus grand nombre de dimensions, où s'appliquerait la formule

$$ds^2 = dx^2_1 + dx^2_2 + \ldots + dx^2_n$$

qui donne le carré de la distance de deux points

$$(x_1, x_2, \ldots, x_n) \text{ et } (x_1 + dx_1, x_2 + dx_2, \ldots, x_n + dx_n).$$

La métrique serait définie dans cet espace généralisé et le déplacement parallèle dans la multiplicité à trois dimensions serait défini par la condition que le vecteur déplacé parallèlement à lui-même conserve la même inclinaison sur toutes les directions appartenant à la multiplicité à trois dimensions. C'est ainsi que la notion de déplacement parallèle a été introduite dans la science.

Mais on peut définir le déplacement parallèle d'un point à un autre sans faire intervenir les propriétés métriques.

Seulement dans ce cas la notion de ligne géodésique nous échappe ou pour parler plus exactement, sa définition devra se dégager de celle qu'on donnera du déplacement parallèle.

Déplacement parallèle.

Il est clair qu'il s'agit d'établir une correspondance biunivoque entre les vecteurs au point O d'une part et les vecteurs au point O′, d'autre part, le point O′ étant infiniment voisin et de telle sorte que lorsque le point O′ se rapproche indéfiniment du point O la transformation se réduise à la transformation identique. Parmi toutes les transformations linéaires que l'on peut concevoir, pour résoudre ce problème, il faut choisir celles qui sont aptes à représenter un déplacement parallèle. Le critérium sera le suivant : nous postulerons l'existence d'un système de coordonnées, auquel nous donnerons le nom de système géodésique qui sera tel que, si l'on en fait usage, les composantes d'un vecteur quelconque

$$\overline{\xi}^1, \overline{\xi}^2, \ldots, \overline{\xi}^n$$

ne subiront pas de variation quand on lui fera éprouver un

déplacement parallèle infinitésimal. Dans ce système de coordonnées, le déplacement parallèle se présente donc de la façon la plus simple, tout à fait analogue à la façon dont nous concevons le déplacement parallèle d'un vecteur dans la géométrie cartésienne. Il s'agit seulement de saisir les conséquences que cette hypothèse entraîne pour les variations des composantes du même vecteur quand on change de système de coordonnées.

Considérons donc le vecteur **x**

$$\mathbf{x}: \quad \xi^1, \xi^2, \ldots, \xi^q$$

défini par ses q composantes dans un système de coordonnées x. Au point O′, le vecteur **x** deviendra, par déplacement parallèle

$$\mathbf{x} + d\mathbf{x}: \quad \xi^1 + d\xi^1, \xi^2 + d\xi^2, \ldots, x^q + d\xi^q$$

tandis que dans le système géodésique ses composantes seraient restées, après le déplacement

$$\bar{\xi}^1, \bar{\xi}^2, \ldots, \bar{\xi}^q.$$

On passe d'un système de coordonnées à l'autre au moyen des formules :

$$x_i = f_i(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \ldots, \bar{x}_q)$$

En les différentiant, on obtient les formules

$$\delta x_i = \sum_{k=1}^{k=q} \alpha_k^i \, \delta \bar{x}_k$$

lesquelles nous apprennent que les composantes des vecteurs se transforment suivant les formules :

$$\xi^i = \sum_k \alpha_k^i \, \bar{\xi}^k$$

Comme on doit pouvoir résoudre les équations, à cause de la correspondance biunivoque des points du voisinage de O et des points du voisinage de O′, le déterminant fonctionnel, qui est le déterminant des α_k^i est différent de zéro ; et, en résolvant les dernières équations, on aurait

$$\bar{\xi}^i = \sum_k \beta_k^i \, \xi^k$$

en appelant β_k^i un mineur de déterminant $| \alpha |$, divisé par ce déterminant lui-même.

Cela posé, faisons subir au vecteur **x**, un déplacement parallèle de O en O′ dans lequel il éprouve une variation marquée par la lettre d, nous aurons

$$d\xi^i = \sum_k d\,\alpha_{i.}^{k.}\,\bar{\xi}^k + \sum_k \alpha^i\, d\bar{\xi}^k$$

mais la seconde somme s'évanouit, par hypothèse, et il reste :

$$d\xi^i = \sum_k \sum_l \frac{\partial^2 f_i}{\partial \bar{x}^k\, \partial \bar{x}^l}\, d\bar{x}^l\, \bar{\xi}^k$$

Or, nous avons :

$$d\bar{x}^l = \sum_r \beta_r^l\, dx_r$$

$$\bar{\xi}^k = \sum_s \beta_s^k\, \xi^s$$

d'où,

$$d\,\xi^i = \sum_k \sum_l \sum_r \sum_s \frac{\partial^2 f_i}{\partial \bar{x}^k\, \partial \bar{x}^l}\, \beta_r^l\, \beta_s^k\, dx_r\, \xi^s$$

Le coefficient de $dx_r\, \xi^s$ sera :

$$\sum_k \sum_l \frac{\partial^2 f_i}{\partial \bar{x}^k\, \partial \bar{x}^l}\, \beta_r^l\, \beta_s^k$$

Celui de $dx_s . \xi^r$ sera :

$$\sum_k \sum_l \frac{\partial^2 f_i}{\partial \bar{x}^k\, \partial \bar{x}^l}\, \beta_s^l\, .\beta_r^k$$

On voit immédiatement qu'il est égal au précédent, car puisque les lettres k et l doivent prendre successivement toutes les valeurs entières depuis 1 jusqu'à q, le résultat sera identiquement le même si nous appelons k ce que nous appelions l et l ce que nous appelions k, attendu que cette substitution ne modifie pas le coefficient

$$\frac{\partial^2 f_i}{\partial \bar{x}^k \partial \bar{x}^l} = \frac{\partial^2 f_i}{\partial \bar{x} \; \partial \bar{x}^k} \, .$$

On pourra donc écrire :

$$d\xi^i + \sum_r \sum_s \Gamma^i_{rs} \, dx_r \, \xi^s = o$$

avec la condition :

$$\Gamma^i_{rs} = \Gamma^i_{sr}.$$

On voit donc que les $d\xi^i$ sont reliés aux ξ^s par q relations linéaires à déterminant symétrique. La transformation linéaire qui établit la correspondance entre les vecteurs en O′ et les vecteurs en O a donc un caractère de symétrie.

Mais alors, si nous nous donnons *à priori* les coefficients de la forme bilinéaire symétrique

$$\sum_r \sum_s \Gamma_{rs} \, dx_r \, \xi^s$$

des deux vecteurs

$$\begin{array}{l} ds : dx_1, \; dx_2, \ldots, \; dx_q \\ \mathbf{x} : \xi^1, \; \xi^2, \ldots, \; \xi^q \end{array}$$

c'est-à-dire la valeur au point O de ces coefficients, sera-t-il possible de trouver un système, ou plusieurs qui soient géodésiques au point O ?

La réponse est affirmative.

Considérons, par exemple, les formules de transformation

$$x_i - x_i^0 = \bar{x}_i - \frac{1}{2} \sum_r \sum_s \Gamma^i_{rs} \, \bar{x}_r \, \bar{x}_s$$

nous aurons évidemment :

$$\Gamma^i_{rs} \, dx_s \, \delta x_r = \Gamma^i_{rs} \, d\bar{x}_s \, \delta \bar{x}_r$$

au point O $(x_1^0, x_2^0, \ldots \; x_i^0)$

Mais on a :

$$\frac{\partial x_i}{\partial \bar{x}_r} = \delta_i^r - \Gamma^i_{rs} \, \bar{x}_s$$

δ_i^r étant égal à 1 si i est égal à r et à zéro si i est différent de r. Donc :

$$\frac{\partial^2 f_i}{\partial \bar{x}_r \, \partial \bar{x}_s} = \frac{\partial^2 x_i}{\partial \bar{x}_r \, \partial \bar{x}_s} = - \Gamma^i_{rs}$$

ce qui donnera :

$$d \xi^i + \sum_r \sum_s \Gamma^i_{rs} \, dx_r \, \xi^s = d \xi^i - \sum_r \sum_s \frac{\partial^2 f_i}{\partial \bar{x}_r \, \partial \bar{x}_s} \, d\bar{x}_r \, \bar{\xi}^s = o$$

Or cette dernière égalité signifie que l'on a :

$$d\bar{\xi}^s = o$$

quel que soit s, et que, par suite, le système surligné est géodésique, au point O considéré.

Géométrie métrique.

Jusqu'à présent, nous nous sommes abstenus de parler de grandeur d'un angle ou de faire une comparaison entre les longueurs de vecteurs, ayant, dans l'espace, des orientations différentes.

Quand on a établi des règles pour faire ces comparaisons, on dit que l'on a fixé la métrique de l'espace considéré. La mesure des longueurs des vecteurs repose sur les définitions ci-après.

Si l'on donne deux vecteurs

$$\mathbf{A} : a_1, a_2, \ldots, a_q$$
$$\mathbf{B} : b_1, b_2, \ldots, b_q$$

le nombre

$$a_1 \, b_1 + a_2 \, b_2 + \ldots + a_q \, b_q$$

que l'on obtient à l'aide de leurs composantes, s'appelle le produit intérieur de ces deux vecteurs et se désigne par $\mathbf{AB}$.

Il jouit des propriétés ci-après :

$$\mathbf{A\,B} = \mathbf{A\,B}$$
$$(\lambda \, \mathbf{A}) . (\mu \, \mathbf{B}) = \lambda\mu \, (\mathbf{A\,B})$$
$$\mathbf{A}(\mathbf{B} + \mathbf{C}) = \mathbf{A\,B} + \mathbf{A\,C}$$

d'où il résulte que si l'on a :

$$\mathrm{A} = \sum_k \lambda_k a_k \qquad \mathrm{B} = \sum_j \mu_j b_j$$

on aura :

$$\mathrm{A\,B} = \sum_k \sum_j \lambda_k \mu_j a_k b_j.$$

Par valeur absolue du vecteur A on entend le nombre

$$|\mathrm{A}| = \sqrt{\mathrm{A.A}} = \sqrt{\mathrm{A}^2}.$$

Ce nombre mesure la distance à l'origine du point correspondant à l'extrémité du vecteur.

En particulier, si l'on a :

$$\mathrm{A} = \mathrm{B} + \mathrm{C}$$

on aura :

$$\mathrm{A.A} = \mathrm{B\,B} + \mathrm{C\,C} + 2\mathrm{B\,C}$$

et si l'on rapproche cette formule de la formule bien connue de la trigonométrie

$$a^2 = b^2 + c^2 + 2bc \cos(\pi - \mathrm{A})$$

où A est l'angle intérieur, tandis que π — A est l'angle formé par les deux vecteurs B et C dont la somme fait A, on voit qu'on pourra prendre comme définition de l'angle des deux vecteurs *a*, *b* dans l'espace généralisé :

$$\mathrm{B\,C} = |\mathrm{B}|.|\mathrm{C}|. \cos(\mathrm{C}, \mathrm{B}).$$

ou

$$\cos(\mathrm{C}, \mathrm{B}) = \frac{\mathrm{B\,C}}{\sqrt{\mathrm{B}^2}\sqrt{\mathrm{C}^2}}$$

en particulier, si l'on a :

$$\mathrm{BC} = o$$

on dira que les vecteurs B et C sont orthogonaux. On voit que la notion d'angle est intimement liée à celle de longueur.

Je vais maintenant introduire la forme métrique fondamentale et distinguer les composantes contrevariantes et covariantes d'un même vecteur.

Pour faciliter cette distinction, il est commode d'admettre que des indices soient placés en exposants, en conservant leur rôle d'indices.

Par exemple, si

$$e_1, e_2, \ldots, e_q$$

constituent un système fondamental d'unités, nous appellerons $a^1, a^2, \ldots, a^q$ les composantes du vecteur a rapportées à cette base, de façon à pouvoir écrire :

$$A = a^1 e_1 + a^2 e_2 + \ldots + a^q e_q.$$

Quand on passe d'un système d'unités à un autre, la transformation des composantes a^i s'effectüe de façon inverse de la transformation des vecteurs unités, c'est pour cette raison qu'on dit que le vecteur a est donné par ses composantes contrevariantes.

Une grandeur physique, si elle était déterminée par q nombres qui dussent subir dans leur ensemble la même transformation que les vecteurs unités, serait dite covariante.

Il y a des grandeurs, comme les translations qui sont définies naturellement par leurs composantes contrevariantes.

Il y en a d'autres qui sont définies naturellement par des composantes covariantes ; c'est par exemple le cas de la force, si l'on part de la notion de travail. Supposons en effet que le travail d'une force soit mesuré par une quantité de la forme

$$\sum_i f_i \, dx^i$$

où les dx^i sont les composantes d'une translation infiniment petite, alors, comme ce travail doit être indépendant du système fondamental d'unités, les f_i se comporteront comme les vecteurs unités, puisque le vecteur $\Sigma\, e_i\, dx^i$ doit lui aussi demeurer indépendant du choix de la base. Les f_i réagiront donc à un changement de base, comme les e_i eux-mêmes. C'est pour cette raison qu'on les appelle covariants. Tant qu'on n'a pas imposé une métrique à l'espace, une grandeur physique dirigée peut être définie, suivant le cas, par des composantes contrevariantes, comme un vecteur, ou par des composantes covariantes, comme une force et le mode de représentation qui lui correspond implique une différence de nature ; mais si l'on attribue à l'espace des propriétés métriques, alors, comme nous allons le voir, une

même grandeur physique peut être définie soit par des composantes contrevariantes, soit par des composantes covariantes, et la différence entre les grandeurs correspondantes disparaît, il n'y a plus qu'une différence dans le mode de représentation.

Forme métrique fondamentale.

Soit donc un vecteur :

$$A = \sum_i a^i e_i$$

on aura :

$$A^2 = \sum_i \sum_j a^i a^j e_i e$$

Si l'on pose

$$g_{ij} = g_{ji} = e_i e_j$$

il vient :

$$A^2 = \sum_i \sum_j g_{ij} \; a^i a^j$$

et l'expression du second membre s'appelle la forme quadratique fondamentale.

Si nous posons :

$$a_i = \sum_j g_{ij} \; a^i$$

on pourra écrire :

$$A^2 = \sum_i a_i a^i$$

et, comme le carré de la valeur absolue doit avoir un sens indépendant du choix de la base, les a^i et les a_i se transformeront par des transformations, qu'on appelle contragrédientes en raison de cette compensation.

La forme quadratique fondamentale doit être telle qu'elle ne puisse s'annuler sans que toutes les composantes a^i soient nulles. En ce cas, le discriminant est différent de zéro et l'on peut résoudre les équations :

$$a_i = \sum_j g_{ij} a^i$$

On a alors :

$$a^i = \sum_j g^{ji} a_j \qquad (g^{ij} = g^{ji})$$

en désignant par g^{ij} les mineurs du discriminant divisés par le discriminant lui-même.

On voit donc que les q composantes a_i sont parfaitement aptes à représenter le vecteur au même titre que les a^i et il est facile de passer des unes aux autres par les formules qu'on vient d'écrire. Le vecteur A peut donc être donné aussi bien par ses composantes covariantes a_i que par ses composantes contrevariantes a^i.

Les propriétés que nous venons d'exposer se rapportent à l'espace engendré par les vecteurs qui ont une même origine. Cet espace, avons-nous dit, est en quelque sorte tangent à l'espace plus général qu'on obtient, quand on envisage des transformations non linéaires. Cependant on continuera à admettre les mêmes propriétés dans le domaine infiniment petit, parce qu'alors les formules différentielles de transformation sont linéaires : nous les avons écrites sous la forme :

$$dx^i = \sum_k \alpha^i_k \, d\bar{x}^k.$$

Le carré de la longueur de l'élément de ligne sera alors de la forme :

$$ds^2 = \sum_i \sum_j g_{ij} \, dx^i dx .$$

les g_{ij} étant des constantes dont la valeur dépendra du point considéré.

Deux éléments de ligne seront congrus, si la forme quadratique conserve la même valeur quand on l'exprime au moyen des composantes du premier élément ou au moyen des composantes du second.

Connexion métrique.

Mais quand on voudra comparer deux éléments n'ayant pas la même origine, il se présentera la même difficulté pour le déplacement d'un petit segment sans modification de longueur que celle que nous avons rencontrée pour le déplacement d'un vecteur sans modification de direction.

Nous avons alors supposé qu'un vecteur déplacé parrallèle-

ment à lui-même le long d'un chemin fermé pouvait revenir au point de départ dans une position différente de sa position initiale. Nous supposerons de même qu'un étalon de longueur transporté le long d'un chemin fermé peut revenir au point de départ avec une longueur différente de sa longueur initiale.

Nous avions postulé alors l'existence d'un système géodésique de coordonnées tel que le déplacement parallèle conservait les composantes du vecteur inchangé. Il nous faudra faire ici une supposition analogue pour l'étalonnage.

Dans la géométrie des surfaces classique, on adopte le point de vue de Riemann, d'après lequel on admet la possibilité de transporter d'un point à un autre l'étalon de longueur sans qu'il subisse d'altération et alors, le carré de la longueur de l'élément est représenté par la forme quadratique

$$ds^2 = E\,du^2 + 2F\,du\,dv + G\,dv^2$$

(u, v) étant les paramètres en fonction desquelles on exprime les coordonnées (x, y, z) de chaque point de la surface.

Nous nous plaçons à un point de vue plus général ; chaque point de l'espace comporte son étalonnage particulier. Si l'on remplace l'étalonnage par un autre, la valeur l de la forme quadratique fondamentale qui sert à mesurer la longueur d'un segment change et devient $\bar{l}$, mais le rapport $\frac{\bar{l}}{l}$ est un nombre λ différent de zéro qui est indépendant du segment considéré.

Ainsi donc nous prenons un système particulier de coordonnées x et nous avons fixé en chaque point de l'espace la valeur de la forme quadratique fondamentale, ce qui revient à se donner les g_{ik} comme fonctions de $(x_1, x_2, \ldots, x_q)$, dont on doit supposer qu'elle sont continues et qu'elles admettent des dérivées continues.

Deux segments de même longueur sont dits congrus. Qu'est-ce que le transport congru d'un segment du point O au point infiniment voisin O'? Pour le dire, nous admettrons la possibilité de faire dans le voisinage du point O un étalonnage particulier, que nous appellerons géodésique au point O et qui sera tel que par le déplacement congru d'un segment la valeur correspon-

dante de la forme quadratique demeure inchangée. Pour simplifier, prenons pour mesure de la longueur d'un segment infiniment petit son carré l. En passant du point O au point O′ par déplacement congru, le segment devient de mesure $l + dl$, mais le rapport $\frac{dl}{l}$ est indépendant du segment considéré ; c'est une fonction qui dépend des coordonnées de O

$$x_1, x_2, \ldots x_q$$

et des composantes de O O′

$$dx^1, dx^2, \ldots, dx^q.$$

La dilatation apparente doit, en effet, être la même pour tous les segments, puisqu'elle provient simplement de l'étalonnage.

Changeons l'étalonnage, on aura

$$\bar{l} = \lambda\, l$$

λ étant une fonction des coordonnées du point considéré ; mais si le nouvel étalonnage est géodésique, on aura :

$$d\bar{l} = o$$

d'où

$$\frac{dl}{l} + \frac{d\lambda}{\lambda} = o$$

Ainsi donc, s'il y a un étalonnage qui soit géodésique en ce point, et nous postulons qu'il y en a un, il faut qu'il existe une fonction λ de $(x_1, x_2, \ldots, x_q)$ telle que l'on ait :

$$\frac{dl}{l} = -\sum_i \frac{1}{\lambda} \frac{\partial \lambda}{\partial x^i} dx^i$$

par conséquent l'expression cherchée $\frac{dl}{l}$ sera de la forme

$$\sum_i \varphi_i (x_1, x_2, \ldots, x_q)\, dx^i$$

c'est-à-dire qu'elle sera linéaire en $dx^1, dx^2, \ldots, dx^q$, puisqu'elle a ce caractère pour toutes les valeurs de $x_1, x_2, \ldots, x_q$.

Les fonctions φ_i sont d'ailleurs q fonctions qui peuvent être

choisies arbitrairement, car si on se les donne, il sera possible en chaque point de trouver une fonction de λ, telle que les dérivées logarithmiques

$$\frac{1}{\lambda}\frac{\partial\lambda}{\partial x_i}$$

y prennent des valeurs égales aux valeurs des φ_i, en ce point.

D'après cela, la connaissance des fonctions φ_i déterminera la connexion métrique du point O avec son entourage de même que la connaissance des Γ^i_{rs} déterminait la connexion affine.

La connaissance des g_{ik} et de leurs dérivées partielles ainsi que celles des φ_i entraîne, d'ailleurs, celles des Γ^i_{rs}. C'est un des résultats les plus marquants de ces théories, dues à M. Hermann Weyl.

S'il arrivait que l'expression

$$\varphi_1 dx^1 + \varphi_2 dx^2 + \ldots + \varphi_q dx^q$$

fût une différentielle exacte $d\varphi$, on aurait

$$\frac{dl}{l} = d\varphi$$

et l serait égal à l_0, valeur de l en O, multipliée par une fonction des coordonnées du point O :

$$l = l_0\, \psi\, (x_1, x_2, \ldots x_q)$$

En remplaçant $g_{ij}\,\psi$ par g'_{ij}, et supprimant ensuite les accents devenus inutiles, la forme quadrique fondamentale se trouverait déterminée en chaque point par une formule unique et l'on retomberait sur le cas de la géométrie, dite de Riemann.

Mais aucune nécessité logique n'oblige à faire cette hypothèse et de même que la courbure d'une surface se manifeste par la non intégralité de la direction, on peut admettre que la non intégralité de la longueur segmentaire serait la manifestation d'une sorte de courbure métrique de l'espace.

Les considérations que nous venons d'exposer avaient pour but de montrer la distinction que l'on doit faire entre la géométrie affine et la géométrie métrique et de faire concevoir que, si la géométrie des surfaces courbes est plus compliquée que celle du

plan, il se pourrait de même que la géométrie véritable de l'espace fût plus compliquée que la géométrie euclidienne, lorsque certaines conditions naturelles viennent imposer à cet espace une sorte de courbure. Si le sens nous en échappe, c'est que, obligés que nous sommes de vivre dans ce milieu, nous ne pouvons le considérer du dehors, comme pourraient le faire des êtres surnaturels qui vivraient dans un monde euclidien à un plus grand nombre de dimensions au sein duquel notre espace se présenterait comme une variété à trois dimensions.

EXPLORATION DU CHAMP ÉLECTROSTATIQUE

(*Expression tensorielle des vecteurs champ et déplacement.*)

1° Champ électrique.

Portons aux divers points d'un champ électrostatique un petit corps électrisé qui nous serve de corps d'épreuve et examinons les forces qui agissent sur lui. Il suffira de lui laisser la liberté de se mouvoir le long d'un petit déplacement dx^1 pour recueillir du fait de ce déplacement une certaine quantité d'énergie qui mesurera le travail du champ. Ce travail dépend de l'état d'électrisation du corps d'épreuve et de l'état du milieu diélectrique au point considéré. Pour dissocier ces deux éléments et faire apparaître les deux facteurs correspondants qui entrent dans l'expression du travail, le facteur de quantité, qui est la charge électrique et le facteur d'intensité qui est le champ, on peut employer un mode de raisonnement qui a été mis, pour la première fois en forme, d'une façon précise, par Vaschy. Il est inutile de reproduire ici ce raisonnement. On trouve que si

$$q \text{ et } E_1$$

représentent respectivement la charge du corps d'épreuve et un coefficient qui ne dépend que de l'état du champ au point considéré, ainsi que de la direction du déplacement, le travail élémentaire $d\,\mathcal{T}$, est donné par la formule

$$d\,\mathcal{T} = q\, E_1\, dx^1$$

A vrai dire, il conviendrait d'ajouter un coefficient de proportion-

nalité, chaque grandeur devant être mesurée avec une unité qui est une grandeur arbitraire de la même espèce. Mais nous imaginerons que le choix des unités ait été fait de manière à réduire à l'unité ce coefficient de proportionnalité. Notre but, en effet, n'est pas de discuter les mérites des divers systèmes d'unités.

L'expérience qui vient d'être faite dans la direction obtenue en faisant varier x_1, et laissant constantes les autres coordonnées x_2, x_3, peut être reproduite en laissant constants x_1 et x_3 et faisant varier x_2 de dx^2, on recueillera un travail

$$d\,\mathcal{T} = q\,E_2\,dx^2$$

On aurait de même, relativement à la troisième coordonnée x_3

$$d\,\mathcal{T}_3 = q\,E_3\,dx^3.$$

Imaginons maintenant que l'on recueille le travail T produit par le champ dans un petit déplacement ds dont les composantes sont dx^1, dx^2, dx^3, l'expérience montre que l'on a :

$$d\,\mathcal{T} = d\,\mathcal{T}_1 + d\,\mathcal{T}_2 + d\,\mathcal{T}_3$$

c'est-à-dire :

$$d\,\mathcal{T} = q\,(E_1\,dx^1 + E_2\,dx^2 + E_3\,dx^3)$$

L'expression de $d\,\mathcal{T}$ est indépendante du système de coordonnées adopté, et par suite la valeur de

$$E_1\,dx^1 + E_1\,dx^2 + E_3\,dx^3$$

doit rester invariable, si l'on change de base au point considéré. D'ailleurs nous ne disons pas que $d\,\mathcal{T}$ doive à priori être une différentielle exacte.

C'est dans cette propriété d'invariance que réside le caractère tensoriel de l'intensité du champ ; on dira qu'il est défini par les composantes E_1, E_2, E_3 et ces composantes sont covariantes.

Le champ, d'après sa définition expérimentale, est donc une grandeur physique de nature covariante.

D'une façon générale la forme linéaire

$$a_1\,\xi^1 + a_2\,\xi^2 + a_3\,\xi^3$$

des variables ξ^1, ξ^2, ξ^3 qui sont les composantes contrevariantes

d'un vecteur **x** arbitraire, s'appelle un tenseur, si sa valeur doit rester inaltérée quand on change de base ; les coefficients a_1, a_2, a_3 doivent alors subir une transformation contragrédiente, ces trois composantes définissent une grandeur covariante. On peut dire encore que le champ électrique est défini par un tenseur du premier degré.

EXISTENCE DU POTENTIEL.

Dans un champ électrostatique permanent, l'expérience montre que le champ dérive d'un potentiel, mais en ce cas seulement.

Si l'on déplace avec une lenteur infinie le petit corps d'épreuve dans le champ en lui faisant parcourir un chemin fermé, on trouve que, lorsqu'il est revenu au point de départ, il ne s'est produit ni dans le diélectrique, ni dans les conducteurs isolés, aucune modification d'énergie mécanique, chimique ou calorifique. Le travail total doit donc être nul. C'est ce que l'on constate directement par expérience ou, mathématiquement, par l'application de la loi de Coulomb.

On aura alors en appelant φ le potentiel

$$E_i = -\frac{\partial \varphi}{\partial x_i}$$

ou encore

$$\text{(I)} \qquad \frac{\partial E_i}{\partial x^k} - \frac{\partial E_k}{\partial x^i} = o$$

Je dis que ces équations (I) sont indépendantes du système de coordonnées adopté.

A cet effet, posant

$$E_{ik} = \frac{\partial E_i}{\partial x^k} - \frac{\partial E_k}{\partial x^i}$$

je dis que la forme bilinéaire

$$\sum_i \sum_k E_{ik} \xi^i \eta^k$$

des composantes contrevariantes des deux vecteurs

$$\mathbf{x} : \xi^1, \xi^2, \xi^3$$
$$\mathbf{y} : \eta^1, \eta^2, \eta^3$$

est un tenseur, c'est-à-dire a une valeur indépendante du choix des coordonnées.

Faisant, pour simplifier, $q = 1$, nous avons :

$$d\,\mathcal{C} = \Sigma\, E_i\, dx^i$$

et $d\,\mathcal{C}$ a une valeur indépendante du choix des coordonnées; nous écartons provisoirement la propriété de la forme différentielle placée dans le second membre d'être en électrostatique une différentielle exacte; nous y reviendrons plus tard.

La quantité invariante $d\,\mathcal{C}$ éprouve une variation

$$\delta d\,\mathcal{C}$$

si l'on se porte du point O $(x_1\, x_2\, x_3)$ au point O′ $(x_1 + \delta x^1, x_2 + \delta x^2, x_3 + \delta x^3)$ et l'on a :

$$\delta d\,\mathcal{C} = \Sigma\Sigma \frac{\partial E^i}{\partial x^k}\, dx^i\, \delta x^k + \Sigma E^i\, \delta dx^i$$

Si l'on considère de même la quantité invariante

$$\delta\,\mathcal{C} = \Sigma\, E_k\, \delta x^k$$

et, si l'on se porte du point O (x_1, x_2, x_3) au point O″ $(x_1 + dx^1, x_2 + dx^2, x_3 + dx^3)$ elle subira la variation :

$$d\delta\,\mathcal{C} = \Sigma\Sigma \frac{\partial E_k}{\partial x_i}\, \delta x^k\, dx^i + \Sigma E_k\, d\,\delta x^k$$

et la quantité

$$\delta d\,\mathcal{C} = d\delta\,\mathcal{C}$$

représentera la différence des travaux effectués par le champ lorsque l'on va du point O au point infiniment voisin O‴, qui a pour coordonnées

$$x_1 + dx^1 + \delta x^1,\ x_2 + dx^2 + \delta x^2,\ x_3 + dx^3 + \delta x^3$$

au moyen de deux translations infiniment petites, l'une égale à ds (dx^1, dx^2, dx^3), l'autre égale à δs $(\delta x^1, \delta x^2, \delta x^3)$, une première fois en les prenant dans l'ordre ds, δs, une seconde fois en les prenant dans l'ordre inverse δs, ds.

Nous avons d'ailleurs

$$\Sigma E_k\, d\,\delta x^k = \Sigma E_i\, d\,\delta x^i$$

car dans les sommes développées l'indice k, comme l'indice i doit prendre successivement les valeurs 1, 2, 3 et la lettre k elle-même disparaître du résultat. Ces indices, sans valeur significative, sont dits indices muets.

D'ailleurs on a :

$$d\delta x^i = \delta d x^i$$

parce que, dans le domaine infiniment petit, nous avons affaire à un parallélogramme élémentaire, formant un contour fermé.

En faisant la différence $d\delta\, \mathcal{T} - \delta d\, \mathcal{T}$, nous devons obtenir une expression indépendante du choix des coordonnées.

D'ailleurs les secondes sommes se détruisent mutuellement.

Il reste donc :

$$(\delta d - d\delta)\, \mathcal{T} = \Sigma\Sigma E_{ik}\, dx^i\, \delta x^k$$

Mais les déplacements (dx^i), (δx^k) sont quelconques ; par suite, on peut supposer qu'ils aient été choisis proportionnels à (ξ^i), (η^k). Il en résulte que la forme bilinéaire

$$\Sigma\Sigma E_{ik}\, \xi^i\, \eta^k$$

est bien un tenseur, d'ailleurs doublement covariant ; et cette propriété permettra, dans le cas où l'on changera de coordonnées, de déterminer les relations entre les nouveaux coefficients et les anciens.

D'ailleurs, si les E_{ik} sont tous nuls dans un système, ils seront également nuls, dans tout autre système.

Les équations (I) sont donc l'expression d'une loi physique, mise sous une forme invariante.

2° Déplacement de Maxwell.

Le phénomène de l'électrisation par influence peut servir à définir le déplacement électrique.

Un petit disque conducteur isolé peut servir de plan d'épreuve ; il se charge par influence d'une quantité d'électricité $+q$ sur une de ses faces et d'une quantité d'électricité $-q$ sur l'autre ; mais cette charge q dépend de l'orientation du disque ; elle est d'ailleurs proportionnelle à sa surface.

Pour procéder comme pour l'intensité du champ, il convient de faire trois expériences avec trois orientations du disque, choisies de façon que les trois plans correspondants ne soient pas parallèles à une même droite.

Ceci nous permettra de définir trois coefficients indépendants du disque, de sa forme et de sa surface et ne relevant que de l'état du champ électrique au point considéré.

Si par exemple le plan d'épreuve est dans le plan des $x^2\, x^3$, on aura $q = D_{23}\, S_{23}$.

S_{23} étant la surface du disque, D_{23} le coefficient du champ, q_1 la quantité d'électricité induite.

On aurait de même :

$$q_2 = D_{31}\, S_{31} \qquad\qquad q_3 = D_{12}\, S_{12}$$

Cherchons alors ce que donne l'expérience pour un autre orientation du disque. Le résultat montre que la connaissance des trois coefficients D_{12}, D_{23}, D_{31} suffit pour prédéterminer la quantité d'électricité q induite.

Imaginons, par exemple, que le plan d'épreuve infiniment petit soit un parallélogramme construit sur les deux éléments :

$$ds : dx^1,\ dx^2,\ dx^3$$
$$\delta s : \delta x^1,\ \delta x^2,\ \delta x^3$$

on aura :

$$q = \begin{vmatrix} D_{23} & D_{31} & D_{12} \\ dx^1 & dx^2 & dx^3 \\ \delta x^1 & \delta x^2 & \delta x^3 \end{vmatrix}$$

D'ailleurs, les déplacements ds, δs sont tout à fait arbitraires, de sorte que la forme bilinéaire

$$\begin{vmatrix} D_{23} & D_{31} & D_{12} \\ \xi^1 & \xi^2 & \xi^3 \\ \eta^1 & \eta^2 & \eta^3 \end{vmatrix}$$

demeure invariable quand on opère au point considéré un changement de coordonnées.

D'une manière générale, une forme bilinéaire

$$\sum_i \sum_j a_{ij} \xi^i \eta^j$$

qui conserve une valeur invariable quand on change de base est un tenseur du second degré.

Si l'on a :

$$a_{ij} = - a_{ji}$$

le tenseur est dit symétrique gauche.

C'est le cas du déplacement électrique ; dans une multiplicité à trois dimensions, le nombre des coefficients distincts se réduit à trois.

Le déplacement électrique est la grandeur qui a pour composantes les composantes D_{23}, D_{31}, D_{12} du tenseur symétrique gauche.

$$\Sigma \Sigma D_{ij} \xi^i \eta^j \qquad D_{ij} = - D_{ji}.$$

Plaçons-nous dans le cas de la géométrie cartésienne, le déterminant :

$$\begin{vmatrix} \xi^1 & \xi^2 & \xi^3 \\ \eta^1 & \eta^2 & \eta^3 \\ D^1 & D^2 & D^3 \end{vmatrix}$$

où les (ξ^i), les (η^i), les (D^i) sont les composantes de vecteurs contrevariants, conserve une valeur invariable, pour toutes les transformations orthogonales ; il en est de même de la forme :

$$\begin{vmatrix} \xi^1 & \xi^2 & \xi^3 \\ \eta^1 & \eta^2 & \eta^3 \\ D_{23} & D_{31} & D_{12} \end{vmatrix}$$

On pourra donc poser

$$D_{23} = D^1, \; D_{31} = D^2, \; D_{12} = D^3$$

et assimiler les composantes effectives du déplacement à celles d'un vecteur contrevariant. On dira alors que le tenseur dégénéré du second degré D_{ij} est le vecteur déplacement **D**.

Équation de Poisson.

Nous considérerons maintenant comme un résultat expérimental la loi physique représentée par l'équation

$$\text{(II)} \qquad \frac{\partial D_{23}}{\partial x^1} + \frac{\partial D_{31}}{\partial x^2} + \frac{\partial D_{12}}{\partial x^3} = e$$

e étant la densité de la quantité d'électricité au point considéré.

Les expériences théoriques précédentes permettent à la fois la mesure du déplacement et celle de la quantité d'électricité; par conséquent la vérification de cette loi est théoriquement possible. En réalité, elle traduit les expériences concernant la distribution électrique et les propriétés du cylindre de Faraday.

Posons :

$$D_{123} = \frac{\partial D_{23}}{\partial x^1} + \frac{\partial D_{31}}{\partial x^2} + \frac{\partial D_{12}}{\partial x^3}$$

ce que nous voulons montrer c'est que la loi

$$D_{123} = e$$

est mise sous une forme invariante.

Soient d'une façon générale

$$D_{ij} = - D_{ji}$$

et supposons que

$$\sum_i \sum_j D_{ij} \, dx^i \, \delta x^j$$

soit un tenseur et par conséquent un tenseur gauche ; considérons trois déplacements infiniment petits d, δ et Δ, et admettons que l'on ait

$$d \, \delta \, x^i = \delta \, d \, x^i$$

et deux autres équations analogues, en permutant d, δ, Δ.

On aura

$$\Delta \Sigma \Sigma D_{ij} \, dx^i \, \delta x^j = \Sigma \Sigma \Sigma \frac{\partial D_{ij}}{\partial x^k} dx^i \, dx^j \, \Delta x^k +$$
$$+ \Sigma \Sigma D_{ij} \left(\Delta \, dx^i \, \delta x^j + dx^i \, \Delta \, \delta x^j \right)$$

Mais on peut écrire aussi :

$$\Sigma\,\Sigma\; D_{ij}\,(\Delta\, dx^i\, \delta x^j + dx^i\, \Delta\, \delta x^j) = \Sigma\,\Sigma\; D_{ij}\,(\Delta\, dx^i\, \delta x^j - dx^j\, \Delta\, \delta x^i).$$

Permutons circulairement d, δ, Δ et ajoutons, il viendra au second nombre

$$\Sigma\,\Sigma\,\Sigma\; D_{ijk}\, dx^i\, \delta x^j\, \Delta x^k$$

car les six termes provenant de la seconde somme se détruisent deux à deux.

D'ailleurs, si nous intervertissons i et j, nous avons

$$D_{ijk} = - D_{jik}$$

parce que dans cette somme de trois termes, le premier change de signe par la permutation, tandis que le second devient égal au troisième changé de signe et réciproquement.

De là résulte que les coefficients égaux en valeur absolue à D_{ijk} ont pour coefficient le déterminant du troisième ordre

$$\Sigma \pm dx^i\, \delta x^j\, \Delta\, x^k.$$

Il résulte du caractère invariant des tenseurs gauches d'où nous sommes partis et du caractère également invariant de leurs différentielles que nous arrivons en fin de compte à une forme trilinéaire invariante

$$\Sigma\,\Sigma\,\Sigma\; D_{ijk}\, dx^i\, \delta x^j\, \Delta x^k$$

que nous pouvons écrire sous la forme

$$\frac{1}{3!}\sum D_{ijk} \begin{vmatrix} \xi^i & \xi^j & \xi^k \\ \eta^i & \eta^j & \eta^k \\ \zeta^i & \zeta^j & \zeta^k \end{vmatrix}$$

en tenant compte des caractères de symétrie et du fait que l'on peut remplacer les déplacements infiniment petits par trois vecteurs contrevariants.

On dit alors que l'on a un tenseur linéaire.

Dans notre cas d'une multiplicité à trois dimensions il reste :

$$D_{123} \begin{vmatrix} \xi^1 & \xi^2 & \xi^3 \\ \eta^1 & \eta^2 & \eta^3 \\ \zeta^1 & \zeta^2 & \zeta^3 \end{vmatrix}$$

Il résulte de là que D_{123} représente bien une densité scalaire. Il

faudra du reste que l'on conserve l'orientation des vecteurs X, Y, Z, pour ne pas changer le signe du déterminant.

Si pour simplifier nous appelons dx le déterminant dont les éléments sont les composantes contrevariantes des trois déplacements d, δ et Δ, notre tenseur est

$$D_{123}\, dx$$

D_{123} est donc une grandeur qui dépend du système de coordonnées de telle façon qu'en passant à un autre système de coordonnées, elle se trouve multipliée par le déterminant fonctionnel. On considère alors l'intégrale $\int D_{123}\, dx$ comme la mesure de la quantité de matière qui remplit le domaine d'intégration et D_{123} est sa densité. D_{123} est d'ailleurs une densité scalaire.

Loi reliant le champ au déplacement, dans l'éther.

Pour terminer, nous indiquerons une dernière loi physique, qui n'a de sens que si l'on a déterminé la métrique de l'espace, siège du champ électrique.

Dans le vide on a

$$D = E$$

le vecteur déplacement et le vecteur intensité de champ coïncident.

Mais cette égalité appelle quelques remarques.

Tout d'abord E est une grandeur définie par ses composantes covariantes.

Donc ses composantes contrevariantes seront données par les relations

$$E^i = \Sigma\, g^{ij}\, E_j$$

les g_{ji} étant les coefficients de la forme métrique fondamentale et les g^{ij} représentant les divers mineurs divisés par le déterminant des g_{ij} que nous appellerons g.

Ensuite D ne se présente pas comme un vecteur, mais comme une densité de flux, une densité vectorielle.

Nons allons voir que, par suite, en coordonnées quelconques on devra écrire :

$$D_{ij} = \sqrt{g}\, \Sigma g \quad E_j$$

Faisons, en effet, une petite digression.

Prenons comme axes de référence, en géométrie cartésienne, trois axes rectangulaires, suivant les vecteurs unités e_1, e_2, e_3. Soient a, b, c trois vecteurs quelconques. L'on aura pour leurs composantes le tableau :

$$\begin{array}{lll} a & : & a^1\ a^2\ a^3 \\ b & : & b^1\ b^2\ b^3 \\ c & : & c^1\ c^2\ c^3 \end{array}$$

et le volume du parallélipipède construit sur a, b, c comme côtés aura pour mesure la valeur absolue du déterminant :

$$\pm V_0 = (a\, b\ c) = \begin{vmatrix} a^1 & a^2 & a^3 \\ b^1 & b^2 & b^3 \\ c^1 & c^2 & c^3 \end{vmatrix}$$

Élevons ce déterminant au carré, et observons que l'on a :

$$a^1\, a^1 + a^2\, a^2 + a^3\, a^3 = a^2$$
$$a^1\, b^1 + a^2\, b^2 + a^3\, b^3 = a\, b$$

et autres équations analogues, il vient :

$$V_0^2 = \begin{vmatrix} a^2 & ab & ac \\ ba & b^2 & bc \\ ca & cb & c^2 \end{vmatrix}$$

Mais si nous prenons comme système fondamental le système des vecteurs a, b, c, et si l'on appelle g_{ij} les coefficients de la forme métrique fondamentale, il vient :

$$V_0^2 = \begin{vmatrix} g_{11} & g_{12} & g_{13} \\ g_{21} & g_{22} & g_{23} \\ g_{31} & g_{32} & g_{33} \end{vmatrix} = g$$

d'où

$$V_0 = \sqrt{g}$$

Cherchons maintenant le volume du parallélipipède construit sur les vecteurs X, Y, Z, rapportés au système fondamental a, b, c :

$$X : \xi^1, \xi^2, \xi^3$$
$$Y : \eta^1, \eta^2, \eta^3$$
$$Z : \zeta^1, \zeta^2, \zeta^3$$

On aura :

$$(X Y Z) = (\xi^1 a + \xi^2 b + \xi^3 c, \eta^1 a + \eta^2 b + \eta^3 c, \zeta^1 a + \zeta^2 b + \zeta^3 c)$$

ou

$$(X Y Z) = (a b c) \times \begin{vmatrix} \xi^1 & \xi^2 & \xi^3 \\ \eta^1 & \eta^2 & \eta^3 \\ \zeta^1 & \zeta^2 & \zeta^3 \end{vmatrix}$$

ou

$$(X Y Z) = \begin{vmatrix} \sqrt{g}\zeta^1 & \sqrt{g}\zeta^2 & \sqrt{g}\zeta^3 \\ \xi^1 & \xi^2 & \xi^3 \\ \eta^1 & \eta^2 & \eta^3 \end{vmatrix}$$

Donc le volume, qui reste invariable, quel que soit le système de référence adopté, ce n'est pas le déterminant des composantes, mais ce déterminant multiplié par $\sqrt{g}$.

Or donc, il nous suffit de comparer ce résultat avec l'invariance de la forme bilinéaire

$$\begin{vmatrix} D_{23} & D_{31} & D_{12} \\ \xi^1 & \xi^2 & \xi^3 \\ \eta^1 & \eta^2 & \eta^3 \end{vmatrix}$$

pour voir que D_{23}, D_{31}, D_{12} se transforment, pour un changement de base, comme le feraient les composantes

$$\sqrt{g}\,\zeta^1 \quad \sqrt{g}\,\zeta^2 \quad \sqrt{g}\,\zeta^3.$$

Si donc nous posons, comme nous l'avons indiqué

$$D_{ij} = \sqrt{g}\,E^i = \sqrt{g}\,\Sigma\, g^{ij} E_j$$

nous aurons écrit une relation dont les deux membres réagiront de la même manière à un changement de coordonnées et nous aurons ainsi exprimé sous une forme invariante la loi physique, d'après laquelle, dans un milieu éloigné de toute matière, le déplacement et le champ sont des grandeurs qui se confondent.

La réalité est qu'en dépit des apparences le déplacement est un tenseur linéaire du second degré analogue à une densité vec-

torielle, et que le champ est un vecteur covariant du premier degré.

*
* *

Pour préciser le point de vue auquel je me suis placé dans l'exposé qui précède, quelques explications complémentaires seront utiles.

Tout d'abord, un vecteur peut être défini par son origine A et son extrémité B. Soient :

(x^1, x^2, x^3) les coordonnées de A,

(y^1, y^2, y^3) les coordonnées de B.

(Ces chiffres sont ici des indices et non des exposants).

Le vecteur sera dit un vecteur libre, si, considérant son origine comme arbitraire, nous admettons que les différences

$$z^1 = y^1 - x^1 \quad z^2 = y^2 - x^2 \quad z^3 = y^3 - x^3$$

conservent des valeurs constantes quand l'origine varie. Un vecteur libre est donc défini par un doublet de points que l'on peut déplacer à volonté dans l'espace par un mouvement de translation. Les quantités (z^1, z^2, z^3) sont les composantes contrevariantes du vecteur libre AB suivant les trois directions d'un système fondamental.

Si les trois vecteurs unités fondamentaux sont désignés par i_1, i_2, i_3 et le vecteur AB par $\mathbf{x}$, on aura :

$$\mathbf{x} = z^1\, i_1 + z^2\, i_2 + z^3\, i_3$$

et quand on passera d'un système d'unités fondamental à un autre, la grandeur $\mathbf{x}$ devra rester invariable.

Les quantités (z^1, z^2, z^3) éprouveront alors une transformation qui devra contrebalancer celle des vecteurs unités et que l'on appellera pour cette raison contragrédiente. C'est également pour ce motif que (z^1, z^2, z^3) sont dits composantes contrevariantes.

De même, les équations :

$$a_1\, x^1 + a_2\, x^2 + a_3\, x^3 = d$$
$$a_1\, y^1 + a_2\, y^2 + a_3\, y^3 = d + h$$

représentent deux plans (P_1) et (P_2) ; si l'on considère d comme

arbitraire et qu'on conserve pour h une valeur constante, l'ensemble de ces deux plans formera un doublet de plans qui, lorsque d variera, prendra une série de positions successives. On aura alors :

$$a_1 z^1 + a_2 z^2 + a_3 z^3 = h$$

pour tout vecteur AB de composantes contrevariantes (z^1, z^2, z^3) ayant son origine dans le premier plan (P_1) et son extrémité dans le second (P_2). Les quantités (a_1, a_2, a_3) seront dites les composantes covariantes du doublet de plans. Si l'on passe d'un système d'unités fondamental à un autre, les composantes (z^1, z^2, z^3) varieront suivant une certaine loi et les composantes (a_1, a_2, a_3) devront varier suivant une loi correspondante dite contragrédiente, pour que h conserve une valeur indépendante du choix des vecteurs fondamentaux. La fonction linéaire égale à h est alors un tenseur covariant du premier degré. Par conséquent l'expression :

$$d\,\mathcal{T} = E_1\,dx^1 + E_2\,dx^2 + E_3\,dx^3$$

qui définit le travail élémentaire produit par la force électrostatique quand on déplace l'unité de charge électrique, définit le champ par les composantes (E_1, E_2, E_3) d'un tenseur du premier degré.

Dans la géométrie linéaire (ou *affine*), on peut bien composer et décomposer les vecteurs suivant divers systèmes d'unités fondamentaux, mais on s'abstient de comparer entre elles les longueurs de vecteurs qui ne sont pas parallèles ; cette comparaison est de l'essence de la géométrie métrique.

Néanmoins, les notions de surface et de volume ne dépendent pas de la métrique. On peut à cet égard consulter les leçons de Géométrie vectorielle de M. Georges Bouligand, Professeur de mécanique rationnelle à l'Université de Poitiers. Il suffit pour définir le volume d'admettre que c'est un nombre qui satisfait aux conditions ci-après :

Si un domaine est décomposé en deux domaines adjacents le volume total est la somme des volumes partiels.

Deux domaines déduits l'un de l'autre par translation ont même volume.

Le volume du parallélipipède construit sur trois vecteurs est une fonction continue de leurs composantes contrevariantes.

Enfin l'orientation est fixée par le signe.

Dans ces conditions, le volume du parallélipipède construit sur les vecteurs **x**, **y**, **z**, est égal à

$$v \begin{vmatrix} \xi^1 & \xi^2 & \xi^3 \\ \eta^1 & \eta^2 & \eta^3 \\ \zeta^1 & \zeta^2 & \zeta^3 \end{vmatrix} \quad \begin{array}{l} \mathbf{x} = (\xi^1, \xi^2, \xi^3) \\ \mathbf{y} = (\eta^1, \eta^2, \eta^3) \\ \mathbf{z} = (\zeta^1, \zeta^2, \zeta^3) \end{array}$$

v étant le volume du parallélipipède construit sur les trois vecteurs unités du système de référence fondamental.

Du moment que l'expression

$$q = \begin{vmatrix} D_{23} & D_{31} & D_{21} \\ dx^1 & dx^2 & dx^3 \\ \delta x^1 & \delta x^2 & \delta x^3 \end{vmatrix}$$

doit demeurer invariante pour tout changement de vecteurs fondamentaux, c'est que les quantités

$$D_{23} \ D_{31} \ D_{12} \text{ et } v\xi^1 \ v\xi^2 \ v\xi^3$$

doivent subir des transformations identiques et c'est en ce sens que les composantes (D_{23}, D_{31}, D_{12}) peuvent être considérées comme celles d'une densité vectorielle (contrevariante).

Ajoutons pour terminer, que la métrique intervient, lorsque, pour comparer les grandeurs de deux vecteurs de directions quelconques on se donne la forme quadratique

$$G(\mathbf{x}) = \Sigma\Sigma\, g_{ij}\, \xi^i \xi^j$$

qui lorsque l'on y fait G (**x**) égal à une constante l^2, représente l'ellipsoïde lieu des extrémités des vecteurs de longueur l. Dans la géométrie ordinaire cet ellipsoïde se réduit à la sphère de rayon l, mais au point de vue de la construction logique de la géométrie, rien n'empêche de supposer qu'on a une surface du second degré plus générale. C'est un point que nous nous bornons à indiquer ici. C'est seulement après que l'on s'est donné la surface G (**x**) pour comparer entre elles les longueurs des vecteurs issus d'un même point que l'on peut, étant donné un vecteur AB, le considérer à volonté comme défini par un tenseur covariant du

premier degré aussi bien que par ses composantes contrevariantes; et la relation qui existe entre ces deux séries de composantes est essentiellement dépendante des coefficients (g_{ij}) de la forme quadratique fondamentale.

A la notion de vecteur correspond celle de translation ; à celle de tenseur covariant se rattache la description de l'état d'un champ électrostatique par ses surfaces de niveau.

Pour compléter les lacunes ou rectifier les inexactitudes de cet exposé trop sommaire, le lecteur est prié de se reporter aux travaux originaux de Weyl, Langevin, Bouligand.

NOTES SUR LE DISPOSITIF GILLES

Par M. GRELAUD,
Contrôleur principal des Postes et Télégraphes.

Le peu d'importance de certains sectionnements ne justifie pas l'utilisation d'un groupe B.

Dans ce cas, on fait arriver deux lignes de conversation sur une même position d'arrivée. On peut concevoir cette opération de deux façons :

1° On amène purement et simplement les deux lignes sur un poste d'opératrice soit à l'aide d'une clé de groupement, soit directement, les deux lignes étant en dérivation l'une sur l'autre. Ce procédé nécessite, de la part des opératrices A l'obligation de s'annoncer.

2° On équipe la position B en Gilles. Dans ce cas, chaque ligne conserve son indépendance, les appels provenant de l'un ou de l'autre sectionnement, actionnant un signal lumineux bien déterminé. Les téléphonistes A n'ont donc plus à s'annoncer. L'opératrice B est mise alternativement en relation avec chacun des bureaux ainsi reliés.

Voici du reste la description du système :

Deux lignes de conversation 1 et 2 arrivent sur une position B.

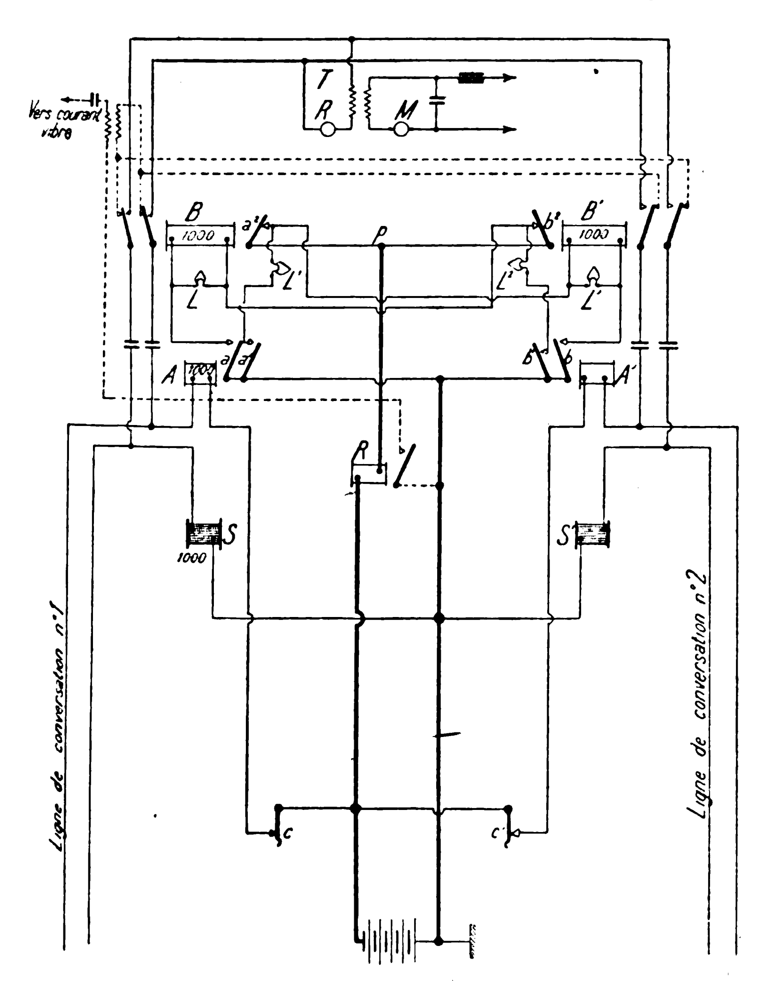
Supposons un premier appel émanant de la ligne n° 1.

Pour faire sa demande, l'opératrice du bureau de départ n° 1 appuie sur le bouton de conversation. Cette manœuvre boucle la ligne de conversation sur son récepteur et sur son secondaire.

Le circuit est fermé pour la batterie du bureau correspondant T. Le courant circule ainsi : pôle libre, bouton C, relais A, 1[er] fil de la ligne de conversation, récepteur et secondaire de l'opératrice A ; 2° fil de ligne, self S et terre de batterie. Le relais A est excité, sa double armature attirée. La première de celle-ci *a* ferme le circuit de la lampe L et du relais B. Circuit pôle libre par P, armature b^2 du relais B′, contact de repos de

cette armature, relais B et lampe L, armature *a* attirée, et terre de la batterie.

La lampe verte L s'allume et le relais B attire sa triple arma-



ture. L'armature a^2 de ce relais ouvre le circuit de la lampe rouge L[1] ; les deux armatures, solidaires de gauche, mettent le poste de l'opératrice en relation téléphonique avec sa collègue du bureau de départ, par l'entremise de deux condensateurs.

Les selfs A et S barrent le chemin, vers la batterie, aux courants phoniques. D'autre part, le relais pilote R est excité et son armature ferme le circuit du courant vibré.

Nous allons en voir bientôt l'utilité.

Le bureau n° 1 peut écouler ses communications vers le bureau T ; mais supposons que le bureau n° 2 ait un appel pour ce bureau T. Il ignore que celui-ci est en travail avec le bureau n° 1 ; l'opératrice appuie sur son bouton de conversation et boucle la ligne n° 2 sur son poste dans les mêmes conditions que celles décrites précédemment. Le relais A′ attire sa double armature, l'armature *b* ne ferme pas le circuit de la lampe L′, car la palette a^2 est sur son travail ; mais l'armature *b′* ferme le circuit de la lampe rouge L^2. Circuit = pôle libre par *p*, armature et contact b^2 lampe L^2, armature *b′* et terre. La lampe rouge s'allume, indiquant à l'opératrice T que sa collègue du bureau 2 est en attente. D'autre part, cette dernière est avertie que l'opératrice T est occupée sur la ligne 1 par l'envoi d'un courant vibré qui lui parvient de la façon suivante :

Le primaire d'une bobine d'induction est fermé par le relais R comme il a été dit plus haut. Ce circuit est parcouru par le courant vibré ; le secondaire de cette bobine a ses extrémités reliées aux plots de repos des armatures de droite au relais B′ ; il en résulte que ce secondaire est par induction, le siège d'un courant vibratoire qui, par les armatures du relais B′, se propage sur la ligne n° 2 et vont impressionner le récepteur de la téléphoniste A.

Pendant ce temps, l'opératrice T continue son trafic sur la ligne n° 1. Si le travail persiste et pour ne pas laisser le bureau n° 2 trop longtemps en attente, elle appuie sur le bouton C ouvrant ainsi le circuit de ligne. Le relais A est désamorcé et ses armatures revenant au repos ouvrent le circuit de la lampe L et du relais B. L'armature a^2, en revenant sur la butée de repos ferme le circuit du relais B′ et de la lampe L′ armature *b* attirée et terre. La lampe L′ s'allume et le relais B′ fonctionne, ses armatures de droite abandonnant les butées de repos, pour venir sur travail mettre le poste de l'opératrice T en relation avec le bureau n° 2.

En résumé, le poste en travail a sa lampe verte allumée tandis que le poste en attente a sa lampe rouge qui brille.

INFLUENCE EXERCÉE SUR LES LIGNES DE COMMUNICATION

PAR LES INSTALLATIONS A HAUTE TENSION

Par le Dr JÄGER, Berlin.

(*Suite.*)

B. COUPLAGE MAGNÉTIQUE.

(*Induction électromagnétique.*)

I. Installations a courant monophasé.

a) Induction mutuelle. — Dans le cas de lignes de traction monophasées avec retour par la terre, les lignes de force magnétiques engendrées par le courant alternatif se dispersent facilement et traversent le conducteur d'une ligne de communication, parallèle à la voie électrifiée et utilisant la terre comme fil de retour (fig. 8). En raison de ce couplage magnétique entre les conducteurs des deux catégories, il se produit sur la ligne de communication une force électromotrice induite (comme dans le secondaire d'un transformateur), qu'il est facile de calculer en appliquant la formule :

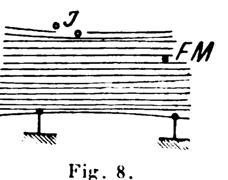


Fig. 8.

$$E = - M \frac{dJ}{dt}.$$

Dans le cas d'un courant J d'allure sinusoïdale, la valeur réelle est :

$$E_0 = \omega M J_0.$$

Lorsque les deux fils (inducteur et induit) sont mis à la terre, on a pour M la valeur :

$$M = 2\,l\left(Lg\,\frac{2\,l}{d} - q\right)10^{-4} \text{ henrys par kilomètre,} \qquad (6)$$

l étant la longueur du parallélisme, d la distance séparant les deux fils (exprimée en kilomètres) et q une constante dont la valeur est généralement comprise entre 1 et 3 et qui tient compte des conditions d'acheminement, dans le sol, du courant de retour (suivant la nature géologique du terrain) et des variations de M suivant la fréquence.

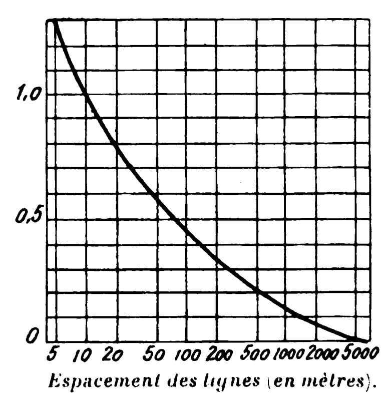


Fig. 9. — Induction mutuelle de lignes simples en mH/km, d'après des mesures effectuées sur des lignes monophasées et triphasées de différentes longueurs.

La courbe de la figure 9 a été tracée d'après les résultats obtenus au cours d'un grand nombre de mesures faites sur différentes installations, pour différentes distances d'espacement des fils, et pour des longueurs de parallélisme également différentes.

On voit (ce que la présence du logarithme dans la formule laissait prévoir) que M décroît lentement lorsque la distance entre les lignes augmente, de sorte qu'avec un éloignement de 500 mètres on trouve encore une valeur supérieure à 20 °/₀ de la valeur mesurée pour un éloignement de 10 mètres. Il s'ensuit que, suivant le cas, avec des espacements de plusieurs kilomètres, il peut encore pratiquement se produire des surtensions inductives.

Dans le cas de lignes de traction à courant alternatif, le courant quitte brusquement les rails pour la terre au point de jonction avec le feeder d'alimentation et au point où se trouve la charge (moteurs de traction). Les filets de courant, fortement dispersés dans le sol, peuvent, au point de vue de leur effet inductif,

être assimilés à un faisceau de filets de courant groupés (conducteur fictif de retour); l'effet de ce conducteur fictif est plus ou moins prononcé, et l'on est obligé de donner en conséquence au terme q de la formule 6 une valeur plus ou moins grande pour faire concorder les valeurs mesurées avec la formule qui donne M. On peut se faire une idée de l'emplacement de ce con-

$$M = 2l \ln \frac{D}{d} - 10^{-4} H. \qquad (1)$$

$$M = 2l\left(\ln \frac{2l}{d} - q\right). 10^{-4} H. \qquad (2)$$

l	d	a	D	M d'après la formule					
				(1)	(2)				
					$q=1$	$q=2$	$q=3$	$q=4$	$q=5$
km	m	m	m						
50	100	12	100,7	$0,69.10^{-4}$	—	—	—	—	—
50	100	106	145,8	$37,72.10^{-4}$	—	—	—	—	—
50	100	663	670	190.10^{-4}	—	—	—	—	190.10
50	100	1.006	1.010	231.10^{-4}	—	—	—	—	—
50	100	1.818	1.820	290.10^{-4}	—	—	—	290.10^{-4}	—
50	100	4.950	4.950	390.10^{-4}	—	—	390.10^{-4}	—	—
50	100	13.490	13.490	490.10^{-4}	—	490.10^{-4}	—	—	—
50	100	36.730	36.730	590.10^{-4}	590.10^{-4}	—	—	—	—

Fig. 10. — Induction mutuelle de deux fils avec retour par la terre, calculée d'après différentes formules.

ducteur fictif de retour, en appliquant d'autre part la formule qui donne l'induction mutuelle entre une ligne à haute tension à deux conducteurs et une ligne de communication à un seul fil, c'est-à-dire :

$$M = 2l\left(\text{Log} \frac{D}{d}\right) \times 10^{-4} \text{ henrys.} \qquad (7)$$

Pour plus amples détails, voy. la figure 10.

b) Le courant de traction et ses composantes. — De même que sur les conducteurs voisins, il se produit en effet, dans les rails, une tension induite qui, suivant les conditions de résistance des rails, engendre un courant de rail déterminé. D'autre part, il existe un circuit fermé par la terre, comme c'est le cas pour toute ligne utilisant le sol comme fil de retour. Considérons le schéma représenté sur la figure 11 ; on voit qu'il est permis de dire que le courant de traction J_0, fourni par la génératrice, se divise aux points A et B (points d'alimentation et de charge) en deux composantes :

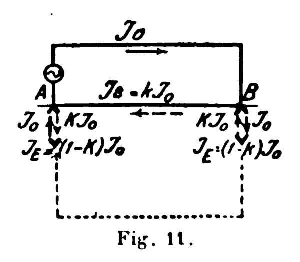


Fig. 11.

le courant dans les rails : $J_s = k\ J_0$,

et le courant dans le sol : $J_E = (1 - k)\ J_0$,

qui doivent être composés vectoriellement puisqu'ils sont décalés en phase. Dans la grande boucle de circuit comprenant la terre, circule le courant $J_E = (1 - k)\ J_0$, dont l'effet inducteur est considérable ; le courant $J_s = k\ J_0$ circule au contraire seulement dans la boucle comprenant le fil de contact et la rail ; dans le premier cas, on doit calculer le coefficient d'induction mutuelle M d'après la formule 6 ; dans le second cas, d'après la formule 7. Plus $J_s = k\ J_0$ est grand, plus on se rapproche des conditions relatives aux lignes bifilaires et plus la force électromotrice induite dans la ligne de communication est faible. J_s augmente de valeur lorsque la tension induite dans les rails s'élève ; celle-ci est égale, par kilomètre, à :

$$E_s = j\omega m J_0,$$

où m représente l'induction mutuelle par kilomètre entre le fil de contact et le rail. Si l'on appelle r la résistance ohmique par kilomètre de rail, et L l'induction propre, par kilomètre également, on a :

$$J_s = \frac{j\omega m J_0}{r + j\omega L} = k\ J_0.$$

On voit que, pour obtenir des valeurs de k et j aussi élevées

que possible, il faut rendre m grand (transformateurs à succion) et r petit (jonctions entre rails.)

Comme nous l'avons indiqué plus haut, le courant de traction considéré comme courant de retour quitte brusquement les rails

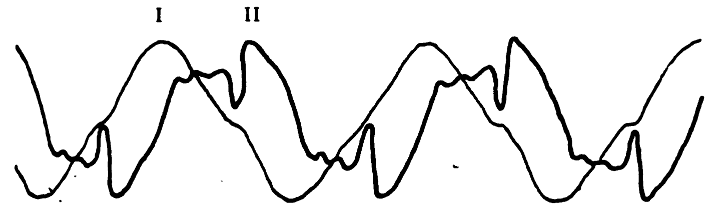


Fig. 12. — Section de la voie électrifiée Hirschberg-Petersdorf comprise entre les points kilométriques 1,9 et 16,8. Mesures faites au point kilométrique 11, 67.

I : Courant de traction $J_0 = 60^A$.
II : Courant induit dans les rails.

aux points A et B, et il reste le courant de rail proprement dit $k\,J_0$. Les oscillogrammes reproduits sur les figures 12 et 13 prouvent d'une façon péremptoire qu'à une certaine distance des deux points précités le courant de rail est purement un courant induit. Par suite des interruptions produites sur la courbe du

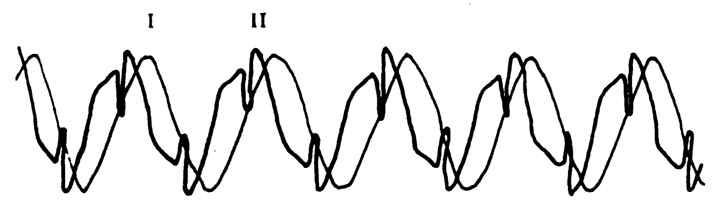


Fig. 13. — Même section que ci-dessus.
Mesures faites au même point kilométrique.

I : Courant de traction $J_0 = 60^A$.
II : Tension induite dans une ligne aérienne de signalisation, entre les points kilométriques 5,0 et 12,7.

courant de traction par des circonstances particulières, la courbe des courants induits accuse une dentelure à laquelle on pouvait s'attendre.

On peut estimer à 200 ampères environ, au maximum, l'intensité du courant de traction sur les sections principales des voies ferrées importantes. Les sous-stations d'alimentation se trouvent au milieu de la section de voie qu'elles desservent (de 50 à 60

kilomètres de voie) de sorte qu'on a affaire à des sections de 30 kilomètres alimentées librement. Pour une induction mutuelle d'un millihenry par kilomètre et avec un écartement de 10 mètres, la tension induite atteint environ 10 volts par 100 A/km, c'est-à-dire que, pour 30 kilomètres et 200 ampères, elle est de 600 volts. Ici, des influences compensatrices ne sont pas envisagées.

Il est bien évident qu'avec des tensions induites de cet ordre tout trafic est impossible sur les lignes téléphoniques utilisant la terre comme conducteur de retour ; lors des premiers essais faits sur les lignes posées le long de la voie électrifiée entre Dessau et Bitterfeld, on avait pu faire fonctionner, avec les courants induits, des lampes à arc et à incandescence ; l'éclairage était normal. Il ne s'agit ici que des effets des courants de traction qui circulent en régime normal.

Pratiquement, il se produit, sur les circuits d'un câble posé le long de la voie, les mêmes tensions que celles qui sont mesurées sur les lignes aériennes. Ceci s'explique lorsqu'on réfléchit que dans le cas de lignes à fil unique il faut chercher très profondément dans le sol le conducteur de retour, de sorte qu'il importe peu que la boucle induite soit (au lieu par exemple de 20 kilomètres) de 20 kilomètres plus 6 ou 7 mètres, d'après la distance qui sépare la ligne aérienne du câble enterré. Nous avons vu que le trafic télégraphique n'est satisfaisant que si la tension perturbatrice ne dépasse pas 10 ou 20 °/₀ de la tension de régime, et qu'au point de vue de la sécurité des individus la tension 200 volts est un maximum ; il faut donc chercher les moyens permettant de combattre les influences perturbatrices ou de les compenser.

D'une manière générale, il n'est pas possible, en Allemagne, de poser les lignes de communication assez loin des conducteurs à haute tension pour les soustraire complètement à l'influence de ceux-ci ; il faudrait parfois que la distance les séparant atteignît plusieurs kilomètres. D'ailleurs, les lignes de signaux des chemins de fer de l'État sont posées le long du palier des voies ferrées. Il faut donc que nous considérions maintenant les autres mesures de protection qu'il est possible d'appliquer.

c) **Le courant de rail et son rôle protecteur.** — On peut utiliser le courant induit dans les conducteurs voisins (par exemple, dans les rails et dans l'enveloppe d'un câble) pour neutraliser plus ou moins parfaitement la force électromotrice perturbatrice induite sur les lignes de communication. Plus le courant induit est intense et plus sa phase est favorable (plus son décalage est voisin de 180°, par rapport au courant de traction), plus l'effort compensateur est satisfaisant. D'après notre expérience personnelle, le courant de rail, lorsqu'il n'y a pas de jonc-

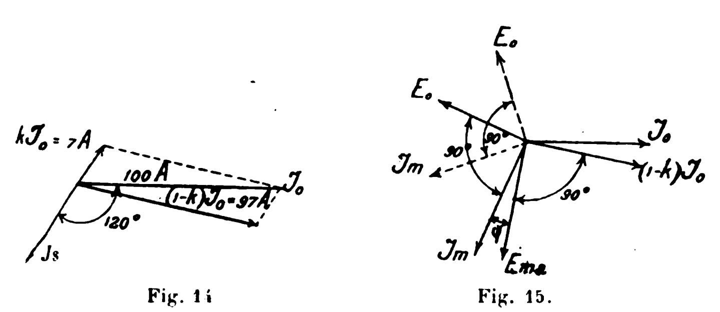


Fig. 14 Fig. 15.

tions spéciales entre rails, varie dans de larges proportions (c'est-à-dire entre 0 et 30 °/₀ du courant de traction, avec un décalage de phase de 120 à 150 degrés), suivant le temps, la nature, le nombre et le degré d'usure des rails. La compensation s'effectue comme l'indique la figure 14. Pour un courant de rail de 7 °/₀ avec la phase désavantageuse décalée de 120°, la compensation n'atteint que 3 °/₀ du courant de traction, au point de vue de l'effet d'induction (voy. fig. 14 et 15).

La différence de phase $\frac{\omega L}{R}$ est d'autant plus grande que R est plus petit. L'expérience a démontré que, dans le cas de jonctions défectueuses entre rails, la plus grande partie de la résistance se trouve dans les joints de rails. Des mesures en courant continu ont donné comme résultats, pour une ancienne voie sur le point d'être remplacée (type 6*e*) : 24 ohms par kilomètre pour une charge de $1^{A},4$, et $0^{O},34$ pour une charge de 84 ampères. Ces valeurs, sur une voie nouvellement posée (type 8 *b*), étaient de $0^{O},274$ pour 2 ampères et $0^{O},098$ pour 90 ampères. Il y a donc

des différences très grandes suivant que la voie est plus ou moins vieille, et suivant la charge. Une nouvelle voie avec coupleurs de rails accusait une résistance de $0^{O},05$ sous 4 ampères et $0^{O},037$ sous 90 ampères. (Voy. le tableau suivant pour plus amples renseignements).

Résistance en courant continu de différentes voies, en fonction de leur âge et de la charge.

Mesures faites, en deux points différents, sur une voie du type 6 *e*, sur le point d'être remplacée (16 × 12 mètres).				Nouvelle voie du type 8 *b*, posée spécialement (13 × 15 mètres).			
I		II		sans coupleurs de rails		avec coupleurs de rails	
J.	O/km	J.	O/km	J.	O/km	J.	O/km
2	2,6	1,4	23,7	16	0,175	4	0,051
4	2,0	2,4	15,4	35	0,132	11	0,040
2	1,8	1,8	15,9	48	0,117	20	0,038
5	1,9	4	10,1	90	0,098	40	0,037
10	1,3	10	5,4	7	0,150	90	0,037
33	0,64	5	6,8	16	0,224		
15	0,65	12	4,3	8	0,263		
28	0,65	27	2,1	2	0,274		
55	0,47	13	3,0	5	0,275		
67	0,40	19	2,4	7	0,296		
55	0,37	42	1,5	51	0,255		
56	0,42	51	1,3	50	0,133		
84	0,34	76	0,92	16	0,173		
55	0,38	52	0,93				
		1,4	8,2				
		2,3	8,0				
		1,4	8,3				

En cas de court-circuit (1.000 ampères), la résistance sur les rails sans coupleurs est presque aussi faible que sur les rails avec coupleurs. C'est pour cette raison que, sur les chemins de fer à courant alternatif, l'administration allemande des chemins de fer essaye de se passer de coupleurs.

La voie étant munie de coupleurs, on obtient de forts courants de rails pouvant atteindre 47 °/₀ du courant de traction avec une différence de phase de 166°. Dans un cas déterminé, la force électromotrice perturbatrice constatée sur la ligne aérienne de

communication tombait de $10^V,2$ à $6^V,3$ par 100 A/km, c'est-à-dire de 38 %; celle constatée sur un circuit en câble, de 11 volts à $5^V,6$, soit de 49 %. Ligne aérienne et câble étaient posés le long de la voie. La compensation est plus accentuée pour le circuit en câble, parce qu'il est plus rapproché des rails.

d) Courants induits dans les enveloppes et circuits des câbles. — On obtient des effets analogues avec le courant d'induction qui circule dans l'enveloppe d'un câble (fig. 15). La tension E_{ma}, induite par $(1 - k)\,J_0$ dans l'enveloppe et les circuits du câble, est perpendiculaire au vecteur $(1 - k)\,J_0$. Le courant J_m circulant dans l'enveloppe retarde d'un certain angle sur cette tension, angle d'autant plus grand que l'inductance est plus élevée et que la résistance de l'enveloppe est plus petite $\left(\varphi = \frac{\omega L}{R}\right)$. Un grand angle est avantageux ; c'est pourquoi il faut s'attacher à rendre R aussi petite que possible, en assurant une bonne communication entre l'enveloppe de plomb et l'armature du câble, aux points de soudure. Il faut encore mettre l'enveloppe convenablement à la terre, parce que le circuit parcouru par le courant induit se ferme par la terre aussi bien que par les rails. De son côté, J_m engendre dans les circuits du câble une tension E_a perpendiculaire à J_m (fig. 15). Plus la différence de phase entre E_a et E_{ma} se rapproche de 180°, meilleure est la compensation pour les valeurs des vecteurs indiquées ici (voy. vecteurs en pointillé).

En réalisant la compensation au moyen du courant circulant dans l'enveloppe du câble, on a obtenu un abaissement de la force électromotrice induite de 29 %, dans un cas déterminé, sur un câble ordinaire en service, grâce à une bonne liaison électrique entre l'enveloppe et l'armature. Si l'on améliore les conditions en diminuant la résistance de l'enveloppe du câble, la compensation est bien meilleure, en particulier pour les harmoniques. A ce point de vue, la maison Siemens et Halske a obtenu d'excellents résultats sur un câble de construction spéciale. Ce câble d'essai, long de 5 kilomètres et dont le nombre de circuits peut

être augmenté à volonté, comporte, sous l'enveloppe de plomb habituelle, *un enroulement formé de 63 fils de cuivre nu d'un millimètre de diamètre, et relié électriquement à l'enveloppe*. Tandis que, sur un fil voisin isolé, la tension induite était de l'ordre de 10 volts par 100 A/km, elle n'était plus que de 2 volts par 100 A/km sur un circuit du câble. La compensation était remarquable surtout aux fréquences élevées. Le câble et l'enroulement spécial étant isolés l'un de l'autre, un courant de traction de 1.000 pér./sec. engendrait dans le circuit du câble un courant de 10^{mA}, qui tombait à $1^{mA},4$ si le milieu de l'enveloppe était relié à l'enroulement et si l'enveloppe était convenablement mise à la terre à ses deux extrémités. Le tableau ci-joint contient un résumé des résultats obtenus en utilisant, comme compensation, les courants de rails et d'enveloppe. On voit que, sur un câble normal, en recourant aux moyens indiqués, on peut obtenir une diminution de la tension induite atteignant au total 63 %.

On obtient des effets de compensation analogues, en mettant à la terre, aux deux extrémités, les circuits disponibles d'un câble. Ce procédé n'est évidemment pratique que si ces circuits restent disponibles en permanence. De mesures faites à ce sujet, il résulte que l'abaissement de la tension induite a été porté de 27 à 44 % en couplant, en parallèle avec l'enveloppe, des conducteurs représentant une section totale de 12 millimètres carrés de cuivre. C'est comme si l'on avait porté de $1^{mm},7$ à $3^{mm},4$ l'épaisseur de l'enveloppe de plomb; ce moyen n'est guère applicable que sur les courtes sections de parallélisme. Des expériences faites sur un câble à 50 paires en fil de 8 dixièmes de millimètre (parmi lesquelles on comptait trente et un fils télégraphiques parallèles à la voie électrifiée sur une longueur de 3 kilomètres) ont donné les résultats suivants :

Nombre de fils mis à la terre :	0	2	6	10	20	30	40	50	70	94.
Pourcentage de la diminution de la tension induite :	0		5	10	16	21	26	33	41	46.

Tensions induites dans les circuits de communication par une ligne de traction à courant alternatif.

Section de la voie ferrée	Etat de la voie et de l'enveloppe du câble		Courant				Tension				Abaissement de la tension due					
			dans la voie		dans l'enveloppe		sur la ligne aérienne		sur le circuit du câble		au courant de rails		au courant de l'enveloppe		aux deux courants précédents	
	Voie	Enveloppe	°/₀	φ	°/₀	φ	par 100 A/km.	φ	par 100 A/km.	φ	Ligne aérien.	Câble	Ligne aérien.	Câble	Ligne aérien.	Câble
Ruhbank-Liebau	sans coupleurs	déconnectée	4-7	113-123°	—	—	V 10,2	115°	V 11	124°						
	id.	connectée	1-2	120	11	138°	8,5	118	7,8	148			17 °/₀	29 °/₀		
	avec coupleurs	déconnectée	47	170	—	—	6,3	117	5,6	128	38°/₀	49°/₀			45°/₀	60°/₀
	id.	connectée	44	172	6	142	5,6	120	4,4	150	34°/₀	44°/₀	11 °/₀	21 °/₀	45°/₀	63°/₀
	id.	connectée et reliée aux rails	42	170	6	142	5,6	121	4,0	160						
Hirschberg-Lauban	sans coupleurs de rails	connectée	12	128	13	141	10	115	7,2	155						
		connectée sol humide	36	150	8	146	7	120	5,1	163						
Hirschberg-Petersdorf	sans coupleurs	pas encore posée	0	—	—	—	13,7	100	—	—						
		déconnectée connectée							12 8,8					27 °/₀		

On peut encore augmenter l'effet compensateur en reliant par un petit transformateur (par exemple, un transformateur téléphonique) le fil *b* d'une paire avec le fil *a* utilisé normalement. En calculant avec soin le rapport de transformation des transformateurs, on obtient d'excellents résultats. Mais les choses se gâtent quand un courant télégraphique parcourt un enroulement : le fer s'aimante et la courbe de tension se trouve déformée. En pareil cas, la tension perturbatrice ne diminue plus que de 70 °/₀, au lieu de 100 °/₀ environ lorsque aucun courant continu ne passe. Malheureusement l'exploitation des lignes par des installations délicates souffre de la présence des transformateurs-compensateurs, de sorte que la mesure préconisée n'est guère applicable qu'aux systèmes robustes.

Récemment, la maison Siemens et Halske a proposé un dispositif de compensation, qui consiste à relier directement l'enveloppe du câble au fil de contact ; les expériences se poursuivent.

e) Mesures protectrices appliquées aux lignes de communication. — 1) *Dispositifs de protection proprement dits.* — L'administration allemande des télégraphes poursuit depuis plusieurs années l'étude de cette question. Les dispositifs qu'elle a mis à l'essai peuvent être classés en trois catégories :

dispositifs d'équilibrage ;

dispositifs sélectifs ;

dispositifs de blocage.

La première catégorie comprend tous les montages et tous les procédés d'exploitation pour lesquels la force électromotrice induite doit être compensée par une force électromotrice engendrée par le courant de traction même ou par un courant d'induction engendré par lui. Le couplage Scott rentre dans cette catégorie.

Appartiennent à la deuxième catégorie tous les systèmes dans lesquels il est offert au courant alternatif perturbateur un chemin meilleur que l'appareil télégraphique traversé par le courant de régime ; rentrent dans cette catégorie tous les systèmes de résonance.

Enfin la troisième catégorie comprend les dispositifs qui ont principalement pour but d'empêcher la production d'un courant perturbateur gênant pour l'appareil récepteur, par exemple la mise en circuit d'une forte réactance inductive.

Récemment, on a procédé à des essais avec un dispositif en pont perfectionné (2[e] catégorie) et avec un système utilisant des lampes à trois électrodes. Mais le champ d'application de ces systèmes est des plus restreints; ils conviennent, par exemple, pour les courtes lignes de signaux posées sur les emprises des voies électrifiées.

Un dispositif appartenant à la 3[e] catégorie (dispositif à forte résistance) est parfois employé avec avantage sur les lignes télégraphiques pour lesquelles la tension induite est faible, soit en raison de la distance importante qui les sépare des fils à haute tension, soit parce que la section de parallélisme est relativement courte. On doit élever la tension de la pile télégraphique dans des limites admissibles, de telle sorte que la tension perturbatrice n'atteigne pas plus de 10 à 15 °/₀ de la première. Naturellement, les courbes des signaux télégraphiques sont alors favorables sur les lignes aériennes. La tension élevée de transmission télégraphique peut être fournie par une dynamo, utilisée à la place de la pile habituelle.

D'une manière générale, ces dispositifs de protection offrent aussi des inconvénients : ils rendent les installations plus coûteuses, compliquent les montages, s'opposent à l'exploitation multiplex en la rendant plus difficile, ne permettent pas l'emploi d'appareils rapides. Aussi, lorsqu'on emploie des montages à résonance, faut-il veiller à ce que le courant télégraphique reste dans une gamme convenable de fréquences, c'est-à-dire, dans le cas des appareils rapides Siemens, que la vitesse de transmission ne dépasse pas 400 signaux par minute.

2) *Dispositifs de protection, pris dans un sens plus général.* — Parmi ces dispositifs, nous signalerons le système dans lequel le conducteur de terre est prolongé de telle sorte qu'à l'intérieur de la zone influencée le conducteur d'aller et le conducteur de retour soient aussi rapprochés l'un de l'autre que dans le cas d'une

ligne bifilaire ordinaire. Il est alors possible d'employer une batterie ordinaire, pour le bureau dont la terre ne se trouve pas allongée. Par contre, dans l'autre bureau, il faut monter une batterie spéciale. Avec ce système, il peut surgir une difficulté,

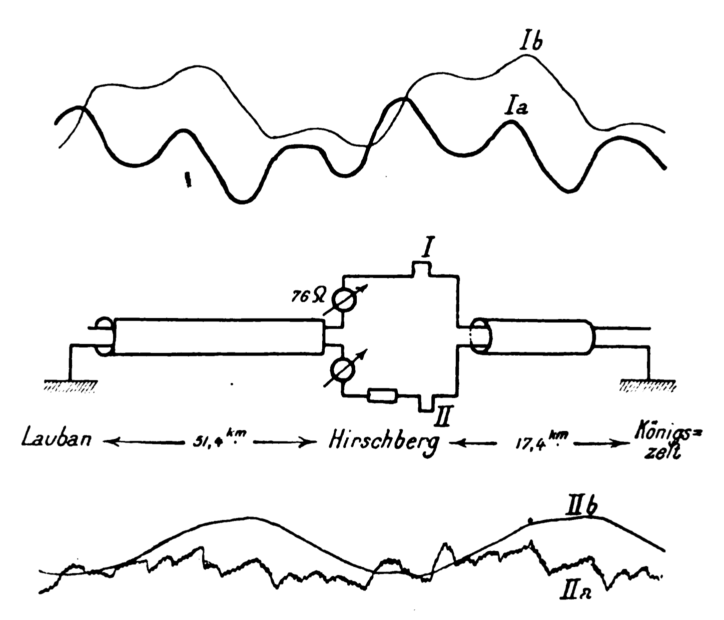


Fig. 16 — Induction sur un circuit de câble isolé et mis à la terre, Lauban-Königszelt (∾, 130 km.).

I. a) Isolé ; à Hirschberg, courant d'induction de $25^{mA},1$;
b) à la terre ; tension d'induction $95^{V} = 5^{mA},3 \times 18.000^{0}$

II. a) Isolé ; $1^{mA},8$; harmoniques facilement reconnaissables ;
b) à la terre : 9 volts.

suivant le cas, en raison de ce que les courants de compensation causent une certaine dissymétrie. Aussi le système n'est-il pas complètement à l'abri des perturbations ; il n'est pas équivalent au système bifilaire ordinaire. Pour plus de détails, voir l'Instruction où il est question des rapports qui doivent exister entre les lignes de communication et les chemins de fer électriques à courant alternatif.

Sur les câbles, il n'est pas de meilleur système protecteur que l'emploi de circuits bifilaires ; mais il n'est véritablement efficace

que s'il n'existe aucune sorte de dissymétrie. C'est pourquoi, sur les circuits de signalisation des chemins de fer, le système Morse (à courant permanent) ne donne pas satisfaction ; la raison en est que les appareils sont reliés d'une manière non symétrique soit au conducteur *a*, soit au conducteur *b* des circuits. Sous l'effet de la force électromotrice induite, il circule dans les deux conducteurs un courant de capacité, qui peut atteindre 20 milli-

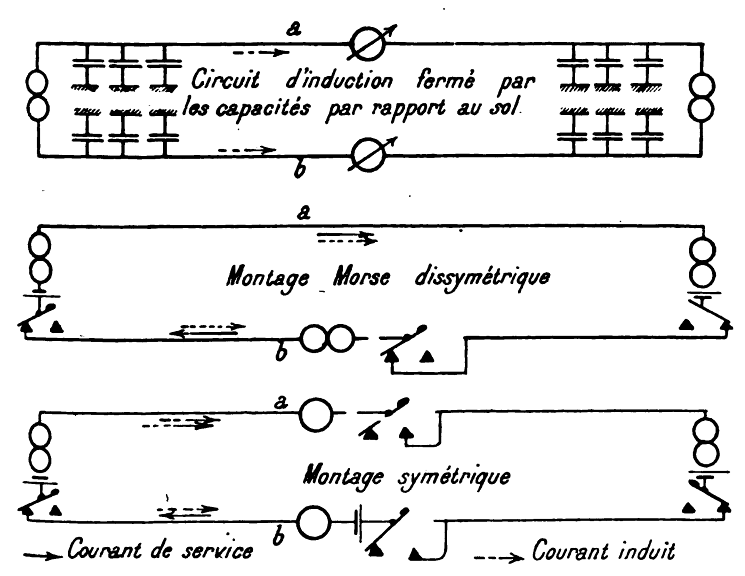


Fig. 17. — Effet des dissymétries sur les lignes bifilaires.

ampères et plus, au milieu des plus longues lignes en câble (fig. 16). Si les deux enroulements d'un appareil se trouvent sur un des fils du circuit seulement, ils sont parcourus dans le même sens par ce courant perturbateur qui les excite. Pour éviter toute perturbation, il faut donc *que tous les appareils soient distribués symétriquement*, avec leurs résistances, sur les deux fils du circuit ; de même pour les batteries ; enfin, il faut qu'on manipule en même temps sur les fils *a* et *b* (fig. 17).

Les lignes téléphoniques souffrent particulièrement du manque de symétrie, surtout à cause des pertes. Le récepteur téléphonique se trouve en quelque sorte dans un pont (fig. 18) et, si les

branches du pont ne sont pas égales, la différence de tension transversale des harmoniques dans le téléphone se fait sentir d'une manière plus ou moins gênante. Dans le cas de câbles téléphoniques, il faut, pour la même raison, veiller au parfait équilibrage des deux fils d'un même circuit.

On peut remédier principalement aux dissymétries existant

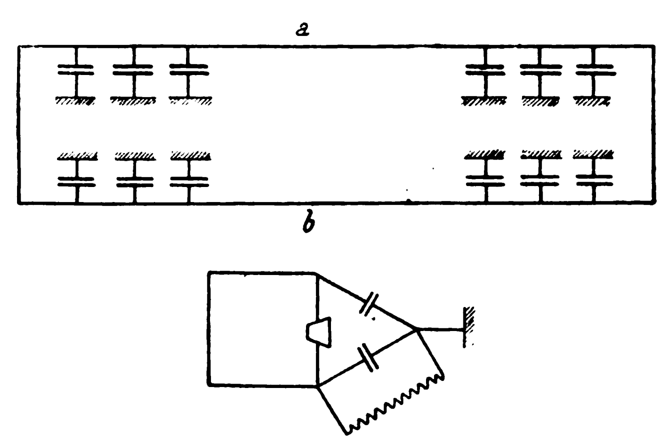


Fig. 18. — Effets des dissymétries des circuits bifilaires.

dans les bureaux ou les stations, en munissant les circuits en câbles de répéteurs (ou relais téléphoniques). Par ce moyen, dans le cas de longs parallélismes, on peut abaisser les tensions de contact élevées en subdivisant les circuits.

Sur les lignes bien conditionnées au point de vue de la symétrie, le trafic téléphonique n'est pas gêné par les harmoniques. Il en est de même lorsqu'on utilise la télégraphie aux fréquences téléphoniques sur les câbles pupinisés, système qui se répand de plus en plus.

En outre, la télégraphie à haute fréquence sur lignes aériennes s'est révélée comme un moyen pratique de communication non soumis aux influences perturbatrices des voies ferrées électrifiées. Évidemment, ce procédé n'est économiquement applicable qu'aux lignes longues à grand rendement.

f) Mesures protectrices appliquées aux lignes de traction. — Par rapport aux circuits spéciaux de compensation que nous

venons d'étudier, les mesures appliquées aux lignes de traction sont avantageuses en ce sens qu'elles le sont une fois pour toutes et qu'elles protègent simultanément toutes les lignes de communication existant ou à construire dans le voisinage des voies ferrées. Au contraire, en général, les dispositifs de protection décrits plus haut doivent être appliqués à chacune des lignes de communication considérée isolément.

1) Parmi les mesures de protection appliquées aux lignes de traction, nous citerons en premier lieu les joints conducteurs entre rails, qui tirent leur valeur du fait qu'ils facilitent l'établis-

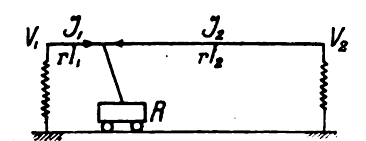


Fig. 19.

sement d'un fort courant de rail induit dont la phase est favorable (voy. ci-dessus : Chapitre B, I, *c*). Aujourd'hui, on court le risque de voir dérober les joints en cuivre ou en tout autre métal ; qu'il manque quelques joints sur la voie, les résultats sont beaucoup moins bons. D'autre part, pour les fortes tensions induites (courts-circuits), les éclisses ordinaires sans jonctions métalliques assurent une bonne communication entre rails voisins, et l'on n'augmente pas sensiblement l'effet protecteur en ajoutant des joints métalliques.

2) *Alimentation d'une section de voie des deux côtés à la fois.* — Ce système n'est vraiment avantageux que si les deux sous-stations peuvent débiter le courant sous la même tension. On peut appliquer les formules suivantes (voy. fig. 19) :

$$1)\quad V_1 = J_1\, r\, l_1 + (J_1 + J_2)\, R$$
$$2)\quad V_2 = J_2\, r\, l_2 + (J_1 + J_2)\, R$$
$$V_1 - V_2 = r\,(J_1\, l_1 - J_2\, l_2).$$

Si $V_1 - V_2 = 0$, on a : $J_1\, l_1 = J_2\, l_2$; c'est-à-dire que, *quel que soit l'endroit où se trouve la voiture automotrice, le nombre*

d'ampères-kilomètre est le même des deux côtés. A condition que la ligne influencée soit parallèle à la ligne de traction *sur toute la section d'alimentation, et ne s'en écarte pas plus en un point qu'en un autre*, la tension induite sera pratiquement nulle. Malheureusement, cette mesure de protection, très simple en soi, devient inefficace quand on regarde les choses de plus près. En effet, en cas de court-circuit, les interrupteurs à haute tension ne fonctionnent jamais simultanément, de sorte que, pendant un laps de temps (en vérité très court), le court-circuit n'est alimenté que d'un côté ; il en résulte la production de tensions induites particulièrement élevées (voy. plus loin : *g*).

3) *Sectionnement des lignes de traction.* — Le sectionnement des lignes au droit des sous-stations et à l'extrémité de la section d'alimentation a pour résultat que le courant de retour est confiné sur une plus grande longueur de rails dans cette section ; il se produit alors un état de choses rappelant plus ou moins celui qui existe sur une ligne avec conducteur de retour. En Suède, ce système a donné de bons résultats (diminution d'un tiers de la tension induite) ; cependant, en Allemagne, on n'a obtenu qu'une diminution de 10 °/₀ environ ; il faut en voir la raison dans les conditions météorologiques. En Suède, surtout dans les régions desservies par les chemins de fer de frontière, le sol durci par le gel est plus isolant ; le courant de retour quitte moins facilement le rail pour le sol. En Allemagne, au contraire, le sol est presque toujours humide ; il est donc meilleur conducteur.

4) *Le système à trois conducteurs* emploie un fil de contre-tension (voy. A, 1, *b*, 1) parcouru par un courant ; il se présente ainsi, surtout en cas de liaison indirecte (fig. 20), dans des conditions aussi favorables qu'une installation avec conducteur métallique de retour. Des essais avec ce système ont été effectués en Suisse : la tension induite mesurée était de l'ordre de $0^{V},2$ par 100 A/km.

5) *Transformateurs suceurs.* — En Allemagne, dès avant la guerre, on avait mis des transformateurs suceurs à l'essai sur la section de chemin de fer électrique Dessau-Bitterfeld (fig. 21).

L'installation comprenait une ligne de succion ou feeder de retour ; les transformateurs étaient placés tous les 5 kilomètres environ. Le but de la ligne spéciale était de rendre voisine de l'unité la valeur de $k \frac{j \omega m}{r + j \omega l}$ (voy. B, I, *b*) ; l'induction

Fig. 20. — Couplage à trois conducteurs avec fil de contact et fil de contre-tension.

mutuelle *m* entre la ligne de traction et les rails augmentait ainsi sensiblement ; par contre *r* diminuait dans de grandes proportions, en raison de le présence de la ligne de succion ou fee-

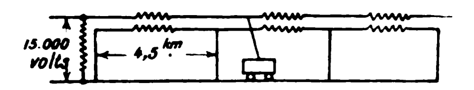


Fig. 21. — Fil de contact muni de transformateurs suceurs. Ligne spéciale à succion.

der de retour, et, suivant le cas, des joints de rails. On peut aussi renoncer au feeder de retour et utiliser seulement les rails comme conducteur de retour (fig. 22) ; il faut évidemment,

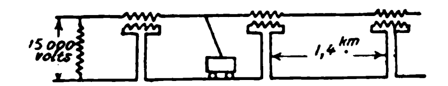


Fig. 22. — Fil de contact muni de transformateurs suceurs sans ligne à succion.

dans ce cas, diminuer l'espacement des transformateurs (en Suède on les place tous les 1.400 mètres). L'absence de feeder de retour est défavorable en ce qui concerne les harmoniques, parce que ceux-ci sont dérivés davantage dans le sol, en raison de la forte impédance des rails pour les courants alternatifs de fréquence élevée : ils sont alors cause de forts troubles inductifs. Les essais faits sur l'ensemble de la section Dessau-Bitterfeld (4 sections de succion) ont permis de réduire à 1/20 la tension totale induite (0^{V},25 par 100 A/km) ; l'automotrice étant en un

point défavorable, soit immédiatement avant, soit immédiatement après un transformateur-suceur, la réduction de la tension perturbatrice atteignait les 4/5 de sa valeur primitive (1^V,1, au lieu de 5^V,1, par 100 A/km.

En Allemagne, on utilise les transformateurs suceurs à l'intérieur des villes, et là où les sections de parallélisme entre les lignes de traction et les nappes de lignes de communication sont courtes, chaque fois que le déplacement des lignes à courant faible causerait des dépenses par trop élevées.

g) **Courts-circuits sur les lignes de traction.** — Les courts-circuits (ou, ce qui revient au même, les doubles terres accidentelles) sont plus fréquents sur les chemins de fer électrifiés que sur les lignes triphasées de transport de force électrique. Ceci s'explique en partie, étant donnée la nature du trafic ferroviaire en courant alternatif, parce que l'organe consommateur de courant est mobile (il doit être installé sur un véhicule avec tous les organes accessoires), et parce que l'isolement du conducteur de traction est sujet à variation dans les gares et sous les tunnels, surtout là où il existe simultanément des chemins de fer à vapeur et des chemins de fer électriques. De plus, on se heurte à une nouvelle difficulté, du fait que le fil de contact, pour l'un des pôles, est en contact avec la terre sans résistance à travers le transformateur, tandis que, sur les installations triphasées (en Allemagne), le point neutre n'est jamais mis directement à la terre.

D'après nos expériences personnelles, le courant de court-circuit peut atteindre plus de 1.100 ampères. Toutes choses égales d'ailleurs, il diminue d'autant plus d'intensité que le point de dérangement est plus éloigné de la sous-station ; la diminution, toutefois, n'est pas proportionnelle à l'augmentation de cette distance ; cependant la force électromotrice totale induite augmente (fig. 23 ; Hirschberg fournit le courant), parce que le nombre des ampères-kilomètre est plus grand. Comme valeur maximum de la force électromotrice induite, on a trouvé sur le câble 1.100 volts ; mais, dans des circonstances défavorables

par exemple, si, à l'usine, plusieurs génératrices fonctionnent en parallèle et si, tant à l'usine qu'aux sous-stations, plusieurs transformateurs sont montés en série), on peut compter sur des tensions de 1.500 volts et plus. Pour 100 A/km, la valeur de

I. Montage de mesures

80.000 V — 16.000 V — Fil de traction — Fil d'essais — Boucles de mesures

II. Courant de court-circuit

Niedersalzbrunn alimente: Nb — 0,15 km: 1115 A — 12,5 km: 895 A

Ruhbank alimente: R — 16,1 km: 1000 A — 19,7 km: 160 A — 28,9 km: 720 A — 32,2 km: 695 A

Hirchberg alimente: Hch

	8,6 km	24,1 km	35,6 km	50 km
	910 A	885 A	663 A	580 A
	7830 Akm	21300 Akm	23.600 Akm	29 000 Akm
Volts totaux	310 V	820 V	890 V	1070 V
Volt par 100 Akm	4,0	3,8	3,8	3,7

III. Tensions induites (court-circuit)

sur les lignes de signaux des chemins de fer, lorsque la sous-station de Ruhbank (30 km) alimente la ligne d'un côté. Court-circuit à la fin de la section : 30 × 700 = 21.000 A/km. Valeurs de la tension par 100 A/km, d'après des mesures faites sur la section Landeshut-Liebau :

Ligne aérienne. Volts par 100 A/km.	Voltage total.	Câble (enveloppe connectée). Volts par 100 A/km.	Voltage total.
a) sans joints de rails :			
5,6 $\left(\frac{10,2}{8,5}\right)$	1180	5,2 $\left(\frac{11,0}{7,8}\right)$	1090
b) avec joints de rails :			
5,5 $\left(\frac{—}{5,6}\right)$	1150	4,0 $\left(\frac{—}{4,4}\right)$	840

Les valeurs entre parenthèses se rapportent à un courant de régime de 200 ampères : le numérateur se rapporte au cas où l'enveloppe est déconnectée, et le dénominateur au cas où l'enveloppe est connectée.

Fig. 23. — Courts-circuits sur les lignes de traction à courant alternatif.

la force électromotrice induite est sensiblement la même que pour le courant de régime et qu'avec des joints de rail, parce que les joints de rails deviennent bons conducteurs aux hautes tensions.

D'après l'allure des courbes représentées sur les figures 24 et

25, on voit que les pointes des impulsions dues au courant de court-circuit sont à peine visibles, en raison de l'affaiblissement important dû à la ligne de signaux, au fil de contact, et aux transformateurs échelonnés. La durée du court-circuit dépend essen-

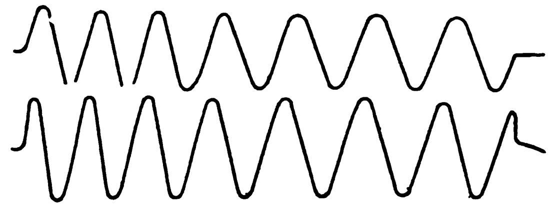


Fig. 24. — Court-circuit sur la ligne de traction Ruhbank-Liebau, l'alimentation étant assurée par la sous-station de Ruhbank.
Sans joints de rails. Court-circuit à Liebau à $16^{km},100$ de la sous-station.
En haut : valeur moyenne du courant de court-circuit : 982 ampères.
En bas : tension induite dans une ligne aérienne de signaux; $l = 9^{km},700$; valeur moyenne : $536^{V} = 5^{V},6$ par 100 A/km.

tiellement de la nature et de l'équipement des disjoncteurs ou interrupteurs par courant maximum. Des relais à action différée déclanchaient parfois après plusieurs secondes seulement ; on les réglait ensuite sur 7, 8 ou 9 périodes ; des relais sans retar-

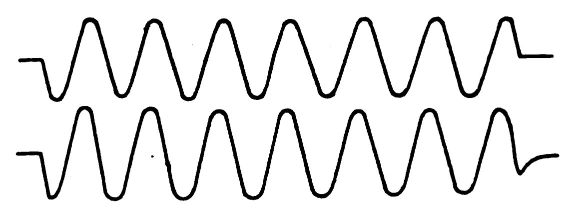


Fig. 25. — Court-circuit sur la ligne de traction Ruhbank-Liebau, l'alimentation étant assurée par la sous-station de Ruhbank.
En haut : Valeur moyenne du court-circuit : 1.000 ampères.
En bas : Tension induite dans un circuit de câble ; $l = 9^{km},700$. Valeur moyenne : $500^{V} = 5^{V},2$ par 100 A/km. Enveloppe du câble connectée.

dement fonctionnaient après 5 ou 4,5 périodes. Ce temps est encore trop long ; il faut s'efforcer de réaliser des délais plus courts, tout en conservant la sécurité du fonctionnement. A titre d'indication, rappelons que l'on construit des relais à courant continu qui déclanchent au centième de seconde. Pendant la durée du déclanchement, l'intensité du courant de court-circuit, et par conséquent la tension induite, tombent à 20 % environ de leur valeur primitive. On remarquera (surtout lorsque le court-

circuit donne naissance à des étincelles) les crêtes élevées de la force électromotrice induite dans la ligne aérienne au moment où le phénomène se produit. Au contraire, dans le cas d'un circuit en câble (enveloppe du câble connectée), les crêtes n'accusent rien d'extraordinaire ; rien d'anormal en ce qui concerne les harmoniques de chaque alternance visibles sur la courbe relative à la ligne aérienne, ce qui prouve que le courant qui circule dans l'enveloppe de plomb du câble constitue bien une compensation aux fréquences élevées.

Lors des expériences qui nous occupent, si, à l'usine, on remplaçait la dynamo de la maison X par une dynamo (ayant même débit) de la maison Y, on constatait que l'intensité du courant de court-circuit était de 20 °/₀ environ plus forte. C'est que la première était, comme on dit « plus douce », c'est-à-dire qu'elle avait une tension de réactance plus grande (18 °/₀) ; ceci provenait de ce que le stator avait 114 encoches (dont 76 bobinées), tandis que le stator de la seconde comprenait 90 encoches (dont 60 bobinées). De plus, l'entrefer de la première dynamo était de 30 millimètres ; celui de la seconde, de 38 millimètres.

En montant en parallèle une deuxième dynamo Y sur la première dynamo Y, le courant de court-circuit augmentait encore de 20 °/₀ ; en ajoutant aux deux machines, une dynamo X, le courant de court-circuit n'augmentait pas d'intensité.

On profita des expériences faites à l'usine génératrice de Mittelsteine, pour s'assurer si, pendant le phénomène, le régulateur Tirrill peut agir, dans un sens défavorable, sur l'intensité du courant de court-circuit en accroissant la tension de la génératrice. On constate que la dynamo X n'était pas en général influencée par le régulateur, alors que le courant d'excitation ou la tension d'excitation), sous l'effet des fortes pulsations produites par réaction entre le stator et l'inducteur tournant, actionnait l'électro-aimant à courant continu du Tirrill, à des intervalles successifs de 33 périodes, tandis que la cadence normale moyenne mesurée du Tirrill est de l'ordre de 4 périodes. La machine Y obéissait normalement au Tirrill ; il ne se produisait pourtant pas d'augmentation du courant de court-circuit, et, par

suite, de la tension induite, ce qui est confirmé par le fait que, en dépit de l'effet régulateur du Tirrill, le courant perdait environ 15 °/₀ de sa valeur initiale pendant la durée du court-circuit.

h) Harmoniques. — Les harmoniques de la courbe du courant de traction émanent du générateur, du transformateur, ou des moteurs. Les deux premiers de ces appareils donnent naissance à des harmoniques dont la fréquence est constante ; les moteurs de traction, au contraire, donnent naissance à des harmoniques

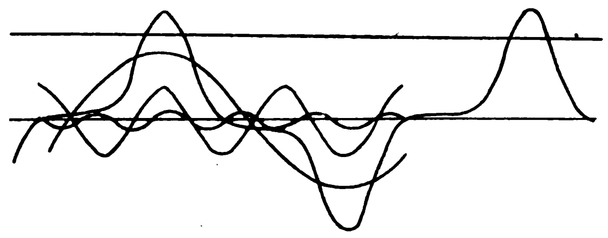


Fig. 26. — Courant de marche à vide d'un transformateur d'automotrice, décomposé harmoniquement.
harmonique 3 : 50 °/₀ du fondamental ;
harmonique 5 : 14 °/₀ du fondamental.

dont la fréquence varie suivant la vitesse de l'automotrice. Les moteurs auxiliaires, installés sur les automotrices pour actionner le compresseur et la soufflerie, engendrent des harmoniques dont la fréquence est également constante.

Nous avons vu, à propos des phénomènes d'influence électrique, comment on pouvait diminuer l'amplitude des harmoniques dus aux génératrices. Les mêmes principes s'appliquent également aux moteurs. Abstraction faite de ceux-ci, les harmoniques deviennent très sensibles, même dans le cas de moteurs d'un petit modèle. Mêmes ceux-ci doivent être construits de telle sorte que, pratiquement, ils n'engendrent pas d'harmoniques (ceci n'est pas toujours et partout réalisé aujourd'hui).

Les harmoniques produits par le transformateur d'une automotrice, par exemple, dépendent de la forme du courant magnétisant (fig. 26) ; plus ce courant est intense, plus l'amplitude des harmoniques est grande ; il est donc important, pour les transformateurs ayant un rendement déterminé, de maintenir le cou-

rant magnétisant aussi faible que possible. Les transformateurs (pour automotrices) d'un vieux modèle ont un courant à vide de 27 ampères, pour une puissance de 1.600 kV/A ; pour ceux du nouveau modèle, de même puissance, le courant magnétisant est de 5 ampères seulement. La figure 16 permet de se rendre compte de l'effet produit sur les circuits de communication bifilaires par les harmoniques du courant de traction. L'effet d'induction se manifeste avec ces circuits quand ils ne sont pas symétriques (en cas de pertes par exemple).

II. — Installations a courants triphasés.

a) Service normal. — Nous laissons de côté les effets perturbateurs susceptibles d'être causés par les courants de régime normal des installations triphasées, car nous supposons que les machines en marche, non seulement en marche à vide, mais encore avec une charge quelconque, ont une courbe de tension pratiquement sinusoïdale jusqu'à la charge nominale, et que le fer des transformateurs n'est pas trop saturé. Il faut donc maintenir les harmoniques à une valeur aussi basse que possible, résultat qui n'a pas encore été atteint dans la pratique, mais qu'il faut poursuivre inlassablement en raison de la multiplication des lignes à courant fort et du défaut de symétrie que l'on constate généralement sur les circuits aériens de communication. En ce qui concerne l'effet des harmoniques 3 et multiples de 3, voy. Chapitre A, II, a. Pour que ces harmoniques ne produisent pas d'effets perturbateurs d'induction, il faut veiller à ce que la capacité des enroulements du générateur-transformateur ne s'écarte pas d'un certain chiffre (1) ; citons pour mémoire la mise éventuelle à la terre du point zéro.

Pour mesurer la valeur des bruits parasites induits sur les lignes de communication par les harmoniques, nous avons jusqu'ici monté, sur les lignes, des lignes artificielles d'affaiblissement réglable jusqu'à ce que les bruits disparaissent. D'après

(1) *Telegraphen u. Fernsprechtechnik* : 1920, p. 155, 156.

les résultats que nous avons obtenus personnellement en divers endroits, et d'après ceux qui ont été recueillis par des tiers, nous croyons qu'on peut aller jusqu'à un affaiblissement de $\beta l =$ 3,5 sans que l'audition perde de sa netteté. Nous ne voulons pas dire par là que l'effet perturbateur, dû à une ligne à courant fort déterminée, puisse être considéré comme tolérable si $\beta l =$ 2,5 ; en effet, les circuits téléphoniques peuvent avoir une longueur de plusieurs centaines de kilomètres et se trouver exposés, en cours de route, à l'influence de nombreuses installations à haute tension.

Pour procéder aux mesures sur les machines mêmes, on utilise parfois à l'étranger un dispositif qui traduit l'effet relatif des divers harmoniques au point de vue acoustique, grâce à une combinaison appropriée de bobines d'inductance et de capacités ; on produit une chute de tension dans une résistance non-inductive montée sur le circuit de la dynamo ou de l'alternateur à étudier, et on lit l'intensité du courant (transformé en donnant à chaque harmonique composant une impédance proportionnelle à son effet sur l'oreille) sur un ampèremètre relié à un élément thermo-électrique (*interference factor meter*). A défaut de meilleurs dispositifs, cet appareil de mesures paraît convenir à la comparaison de machines de modèles différents, tant qu'on se borne à faire une mesure objective des effets dus aux harmoniques.

b) Double mise à la terre. — Dès qu'il se produit une double mise à la terre accidentelle, c'est-à-dire une mise à la terre de deux phases différentes, on peut compter sur des effets d'induction très puissants, dont souffriront les lignes de communication voisines (chocs acoustiques). L'installation triphasée devient alors assimilable à un système monophasé qui, à cause de l'importance prise par les harmoniques 3 de la fréquence fondamentale, produit des tensions induites par 100 A/km trois fois plus grandes que celles qui sont dues aux voies électriques à courant monophasé, toutes choses étant égales d'ailleurs.

En ce qui concerne ces voies, abstraction faite des harmo-

niques 3, on se heurte à un nouvel inconvénient, du fait qu'il faut pratiquement s'attendre à la production d'impulsions très fortes de courants de court-circuit. En effet, jusqu'aux points de mise accidentelle à la terre, la résistance inductive sur le circuit est relativement faible, de sorte que la pointe de la courbe n'est pas, dans l'ensemble, suffisamment amortie. Des expériences faites dans une station centrale de Thuringe ont donné, pour une double mise à la terre d'une ligne de 54 kilomètres, une pointe d'impulsion de 100 °/₀ plus élevée que celle qui correspond normalement à l'état de régime en cas de court-circuit (valeur finale). Les trois génératrices de l'usine marchant à pleine charge (18.000 kV/A), si l'on se place dans les conditions favorables pour lesquelles le courant permanent de court-circuit peut être considéré comme égal à 2 fois 1/2 le courant de pleine charge, on obtient pour celui-là 900 ampères environ, et pour la première pointe 1.800 ampères. Sur une ligne de communication voisine (circuit Eisenach-Meiningen), longue de 41^{km},500 et séparée de la voie électrique d'une distance logarithmique moyenne de 210 mètres, on a mesuré 330 volts pour 100 ampères : d'après cela, on pouvait compter sur 6.000 volts à 1.800 ampères. Même en tablant sur 50 ou 30 °/₀ de cette valeur, on voit qu'il ne sert de rien de porter à 1.000 volts la tension à partir de laquelle les parafoudres à vide fonctionnent sur les circuits téléphoniques, si, en même temps, on ne peut sectionner convenablement la ligne en recourant à des translateurs. Dans le cas cité plus haut, on a constaté, à différentes reprises, des chocs acoustiques violents, dont le personnel téléphonique a eu à souffrir. Comme il s'agit d'une installation déjà vieille, elle n'a pu être construite conformément aux dispositions de la loi relative à la protection des lignes à courant faible contre les lignes à courant fort. On voit combien il était nécessaire de prendre légalement les mesures utiles pour soustraire les premières à l'influence des secondes.

Si une station assure l'alimentation par les deux extrémités, on observe parfois une réduction des effets d'induction en cas de double terre accidentelle, parce qu'on emploie un transformateur

distinct pour chacun des côtés de la ligne à courant fort. Cette disposition a pour effet de réduire la longueur de la section en dérangement, ainsi que les chances de production d'une double mise à la terre. La même remarque s'applique dans le cas du raccordement de deux lignes à haute tension à des canalisations circulaires.

Nous avons vu précédemment que les parafoudres pour surtentions fonctionnent sous 300 volts. Si deux parafoudres sont montés comme l'indique la figure 27, il faut 600 volts pour produire des chocs acoustiques. Mais sur les lignes longues, sur-

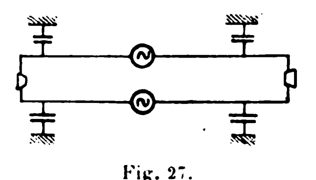


Fig. 27.

tout si la section influencée est près de l'une des extrémités, la capacité de l'autre partie agit déjà comme une liaison avec la terre, si bien qu'en pareil cas 300 volts suffisent réellement pour qu'un parafoudre pour surtensions fonctionne. Les règlements en vigueur considèrent cette valeur comme étant le maximum admissible. En cas de croisement des lignes des deux catégories, les nouvelles lignes à haute tension doivent être posées à une distance plus grande des lignes de communication.

Les chocs acoustiques ne pourraient se produire s'il était possible de se passer des parafoudres, à supposer que l'isolement des lignes téléphoniques fût assez parfait pour qu'il n'y eût pas à craindre de décharge en un point plus faible. C'est pour cela que, sur le réseau allemand de câbles téléphoniques, il n'est pas prévu, pour l'avenir, de dispositifs de protection. Ces câbles seront construits pour offrir une résistance à la rupture diélectrique de 2.000 volts environ par rapport à la terre, et seront reliés, directement à l'entrée, à des transformateurs ayant même résistance disruptive. Comme ainsi il n'y aura plus à craindre de surtensions, on pourra se passer des appareils protecteurs. C'est là un nouvel avantage que les lignes en câble possèdent sur les lignes aériennes.

III. Chemins de fer électriques a courant partiellement redressé.

Les compagnies de tramways utilisent en Allemagne des courants triphasés et hexaphasés redressés par des redresseurs. Le courant redressé présente une allure ondulée (rapport entre l'amplitude maximum des courants triphasés et la valeur moyenne du courant continu obtenu) qui n'est pas négligeable ; dans le premier cas (triphasés redressés), au courant continu se superpose une oscillation de fréquence $f = 150$ avec une valeur relative moindre. Au point de vue des lignes de communication, nous avons donc affaire à une ligne de traction à courant alternatif monophasé, dont la fréquence est de 10 à 20 fois plus élevée que pour les autres lignes électrifiées. Moins facilement que dans le cas de ces dernières, les fréquences indiquées trouvent le chemin de retour par les rails, de sorte qu'il se produira dans les lignes de communication voisines des tensions induites importantes de fréquence moyenne, qui se traduiront par des bruits parasites en cas de dissymétrie entre les deux conducteurs d'une ligne de communication.

Le long du parcours des lignes de tramways, il existe des circuits d'abonnés (soit aériens, soit souterrains) qui, vu la nature complexe des phénomènes dont ils sont le siège, ne sont jamais tout à fait symétriques par rapport à la fréquence perturbatrice. En effet, ces installations doivent être symétriques en premier lieu pour les fréquences téléphoniques (fréquence moyenne répondant à $\omega = 5.000$), ce qui exclut une symétrie simultanée pour $f = 150$ ou 300 périodes, correspondant respectivement à $\omega = 950$ et $\omega = 1.900$. D'autre part, en raison des connexions qu'il s'agit d'établir, il est difficile d'empêcher que certains circuits auxiliaires soient à un seul fil ; tel est le cas, en particulier, pour l'alimentation en batterie centrale du microphone d'un poste d'abonné, dans le cas d'une installation à postes supplémentaires (fig. 28). Au poste principal, le récepteur téléphonique fait partie d'un pont qui n'est pas équilibré pour la fréquence perturbatrice due au redresseur.

On continue à rechercher des méthodes économiques permettant de remédier aux phénomènes perturbateurs. Par exemple, on peut placer sur la ligne de traction une bobine d'inductance à entrefer réglable et, en outre, en parallèle avec le redresseur, un circuit résonant accordé sur la fréquence perturbatrice. Mais ce système n'est vraiment pratique que si l'effet de la bobine réglable est suffisamment prononcé en dépit de l'aimantation préliminaire de la bobine, et que si la résistance effective du circuit de résonance est très faible. Il n'en était pas ainsi lors des mesures effectuées sur une installation triphasée avec redres-

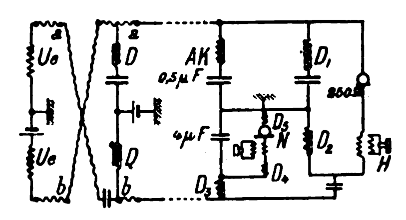


Fig. 28— Alimentation du microphone, dans le cas d'un poste d'abonné avec postes supplémentaires.
Le poste principal est alimenté sur le fil a, les postes supplémentaires sur le fil b. D_4 et D se trouvent au poste principal. Quand le poste principal communique avec un poste supplémentaire, le premier est, au point de vue de l'alimention, connecté comme un poste supplémentaire.

seurs (voy. fig. 29). Les oscillogrammes reproduits sur la figure 29 (à l'exception du premier) ont tous été pris avec un courant de traction de l'ordre de 180 ampères, la sensibilité des équipages d'oscillographe utilisés étant la même. Les pourcentages indiqués sur la figure se rapportent à la diminution de la composante de courant alternatif ; on voit, par exemple, sur le troisième oscillogramme, qu'après mise en circuit de la bobine d'inductance réglable la composante dont il s'agit tombait de 40 %, et la tension ondulatoire perturbatrice dans le circuit de câble, de 45 %.

La réduction des perturbations n'était donc pas suffisante. A titre de comparaison, on remplaça le redresseur par un groupe moteur-générateur ; et ensuite, à la place de celui-ci, on utilisa une commutatrice ; enfin, on monta un groupe d'appareils identique en parallèle sur le redresseur. Les possibilités d'utilisation ressortent des résultats obtenus lors des essais (fig. 29).

En raison de ce que la fréquence perturbatrice est relativement élevée, on peut réaliser une certaine compensation par le courant circulant dans l'enveloppe du câble ou dans les circuits voisins mis à la terre et dont les conducteurs ont un diamètre convenable. Mais ceci n'est guère pratique pour des raisons

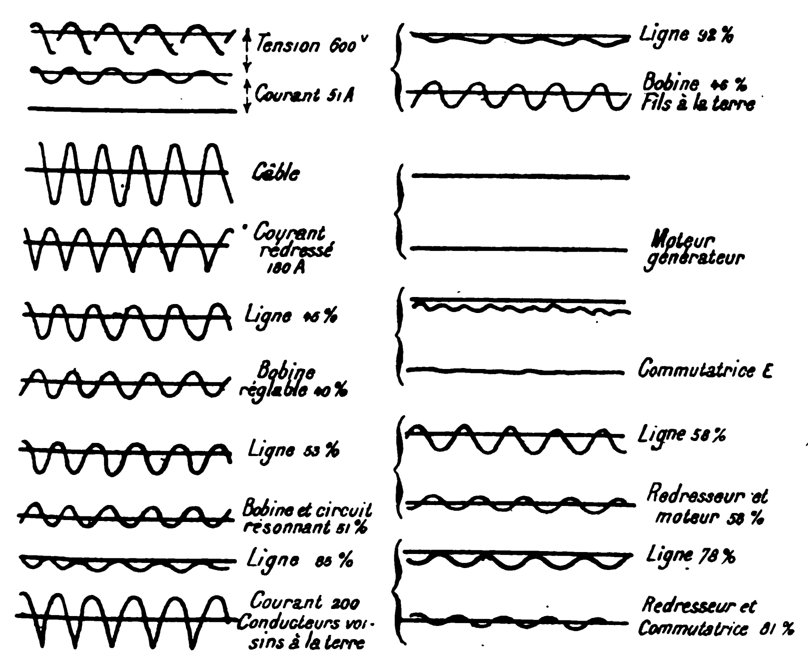


Fig. 29. — Influence exercée sur un circuit de câble (long de $4^{km},25$ et mis à la terre aux deux extrémités) par des courants de traction triphasés redressés (180 ampères environ).

d'ordre économique. En mettant directement à la terre 200 circuits environ voisins du câble, on put mesurer sur le circuit en essai une diminution de la tension induite de 85 °/₀, voire de 92 °/₀. La mise en parallèle du convertisseur et du redresseur donnait des resultats sensiblement aussi favorables (abaissement de la tension induite de 81 °/₀).

La perturbation était surtout d'origine électromagnétique. Le groupe moteur-générateur étant en action (180 ampères), on constatait, sur le circuit en essai, une force électromotrice déterminée de $0^{V},9$ par 100 ampères (de même avec la commuta-

trice), imputable à la différence de potentiel entre les deux terres du circuit ; avec le redresseur, sous la même tension, on obtenait une force électromotrice de $2,^{v}9$ par 100 ampères ; avec la bobine d'inductance réglage, de $1,^{v}95$; avec la bobine réglable et le circuit résonant, $1,^{v}67$. En raison de la quadrature de phases entre le courant alternatif et la partie ondulée du courant redressé, les valeurs indiquées représentent sensiblement la composante alternative elle-même (exactement $2,^{v}76$ ou $1,^{v}73$ ou $1,^{v}40$, c'est-à-dire une diminution de 37 ou 49 %). Voy., à ce propos, la figure 29.

IV. Troubles inductifs apportés aux lignes d'éclairage électrique.

Certaines expériences, faites sur un réseau d'éclairage électrique à trois fils (2 ponts à 220 volts courant continu, conducteur du milieu mis à la terre) se trouvant dans le champ magnétique d'une ligne de traction (courant alternatif à 16 périodes 2/3), ont montré que l'influence inductive peut produire un tremblement de la lumière des lampes à incandescence, suivant les variations de la tension alternative induite superposée au courant d'éclairage. Dans le cas d'une lampe de 16 bougies, si la tension parasite s'élève à 3 % de la tension de régime (220 volts), le tremblement lumineux est assez prononcé pour rendre toute lecture pénible. Ce phénomène cesse complètement si le conducteur médian est bien isolé sur tout son parcours et n'est mis à la terre qu'à l'usine électrique même. Au point de vue de l'induction, on se trouve placé, dans ce cas, dans des conditions rappelant celles d'une ligne double.

C. Couplage galvanique.

(Dérivations).

Il se produit un couplage galvanique lorsque le courant de retour circulant dans le rail ou dans le sol (par exemple en cas de double mise à la terre sur une ligne triphasée) cause une chute de tension qui est ressentie, en totalité ou en partie, sur les lignes de communication, par l'intermédiaire des prises de

terre. Pour le courant alternatif, dans le cas où la valeur ωL du conducteur de rail est élevée ($L \sim 0{,}003$ H/km), l'impédance est, en général, un multiple de la résistance en courant continu, de sorte que le courant de retour préfère passer en totalité par la terre, près des points d'alimentation et de charge. Alors, seule la résistance de mise à la terre en ces deux points joue un rôle au point de vue de l'importance de la chute de tension. Cette résistance est formée de la résistance de passage et de la résistance de propagation ; en raison de la nature du climat et du terrain en Allemagne, l'une et l'autre de celles-ci sont si faibles, qu'il est très rare de voir les potentiels terrestres influer sur le fonctionnement des lignes de communication voisines des lignes de traction à courant alternatif.

Il peut toutefois se produire une exception à cette règle générale, lorsqu'à la suite de froids intenses et persistants le sol est gelé, tellement que les rails sont bien isolés par rapport à la terre. Des mesures faites dans la montagne (à 900 mètres d'altitude) ont donné, à 1.600 mètres du point de charge, une différence de potentiel de plus de 50 volts par 100 ampères, par rapport à une terre prise directement dans la vallée à partir du point de mesure.

Dans le cas de lignes de tramways à courant continu, on sait que les dérivations (ou couplage galvanique) sont cause de l'apparition de courants vagabonds, qui peuvent endommager les câbles aux points où ils quittent soit leur enveloppe, soit leur armature. Nous ne nous étendrons pas ici sur ces dommages. Bornons-nous à rappeler qu'on doit procéder à l'électrification des tramways de Berlin et de sa banlieue, de telle sorte que les deux voies posées l'une à côté de l'autre forment chacune la moitié du réseau (800 volts de tension en courant continu ; système à trois conducteurs) ; les rails de contact, isolés, constitueront les conducteurs extérieurs ; et les rails de roulement, mis à la terre, le conducteur médian. De cette manière, vu la circulation intense qui s'effectue dans les deux sens, on espère réaliser un bon équilibre sur le conducteur médian, et par suite se procurer une sérieuse protection contre les effets des courants vagabonds.

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUE EN LANGUE FRANÇAISE.

La téléphonie automatique. — Nous recommandons aux lecteurs des *Annales* qui désireraient être initiés à la téléphonie automatique, de lire l'étude que M. Reynaud-Bonin, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes, professeur à l'École supérieure des Postes et Télégraphes, a fait paraître sur ce sujet dans le numéro du 8 novembre dernier de la *Revue scientifique*. Cet article de vulgarisation scientifique est accompagné de figures très intéressantes.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

Calcul des électro-aimants des relais employés en téléphonie (D. D. Miller : *The Bell system technical Journal* : avril 1924). — Les principes développés ci-dessous sont applicables à tous les types d'électro-aimants, mais l'article de M. D. D. Miller a plus particulièrement en vue leur application à la construction des relais employés dans les meubles téléphoniques.

Ces relais sont en général de simples commutateurs à commande magnétique, qui établissent ou rompent un certain nombre de contacts, de manière à réaliser une combinaison convenable de circuits, provoquer l'allumage de lampes, etc...

La figure 1 indique les principales combinaisons de contacts qui sont actionnés par des relais.

Les dimensions d'un relais dépendent évidemment du nombre des contacts que l'appareil doit manœuvrer et des caractéristiques des courants qui traversent ces contacts ; mais un grand nombre d'autres facteurs interviennent aussi, avec une importance plus ou moins grande suivant les cas. Les principaux sont :

1. Nombre des contacts ;
2. Caractéristiques des courants qui les traversent ;
3. Temps de fonctionnement ;
4. Caractéristiques du courant qui alimente le relais ;

1	10	19
2	11	20
3	12	21
4	13	22
5	14	23
6	15	24
7	16	25
8	17	26
9	18	

Fig. 1. — Principales combinaisons de contacts actionnés par des relais. (« flat » type relays.)

5. Echauffement admissible des enroulements dans les conditions les plus défavorables ;
6. Équivalent de transmission ;
7. Prix de premier établissement et dépense de courant ;
8. Encombrement admissible.

Les trois premières conditions sont imposées *a priori* et déterminent entièrement l'effet mécanique que devra fournir l'électro-

aimant du relais. Il est très différent suivant les cas : l'effort à fournir varie depuis quelques grammes jusqu'à plusieurs kilos, et la course depuis quelques dixièmes de millimètre jusqu'à 5 ou 6 millimètres. Quant au temps de fonctionnement, il est également très variable : dans certains relais, il doit être réduit le plus possible, alors que dans les installations automatiques on trouve des relais « retardés » dont le fonctionnement doit durer plusieurs dixièmes de seconde.

L'effet mécanique étant déterminé, les conditions 4 à 7 fixent les caractéristiques du circuit magnétique et de l'enroulement.

L'alimentation du relais est caractérisée par la force électromotrice de la batterie si le relais est seul sur son circuit ; mais il y a des cas où, le relais étant en série avec un autre organe, le courant d'alimentation est déterminé par son intensité.

L'équivalent de transmission n'a d'importance que pour les relais qui doivent être placés en série ou en dérivation sur un circuit microphonique. Dans le premier cas, l'enroulement est shunté par une résistance pure ; dans le second, l'enroulement doit avoir une impédance élevée pour les fréquences téléphoniques.

Le prix de premier établissement et la dépense annuelle en courant d'alimentation sont deux facteurs qui varient en général en raison inverse l'un de l'autre. En effet, les relais qui figurent en grand nombre sur un meuble sont en général utilisés pendant une faible fraction de la journée. Pour ces appareils, la consommation de courant est négligeable ; mais il est important de réduire le prix de premier établissement, vu leur grand nombre. Au contraire, pour les relais, peu nombreux, qui fonctionnent en général pendant une fraction importante de la journée, le prix de premier établissement doit céder en importance à la dépense en courant d'alimentation.

L'encombrement peut être une condition primordiale dans certains cas ; par exemple, lorsque le relais est destiné à prendre la place d'un organe supprimé dans un meuble déjà construit.

Quant aux détails mécaniques de construction, ils dépendent d'une multitude de circonstances, telles que l'outillage employé pour la construction ; les facilités de réglage, de montage et d'établissement des connexions, la stabilité des réglages pendant la vie

du relais et vis-à-vis des variations de température, d'humidité, etc...

Enfin une question importante est la protection des contacts contre la poussière, et des enroulements contre l'induction magné-

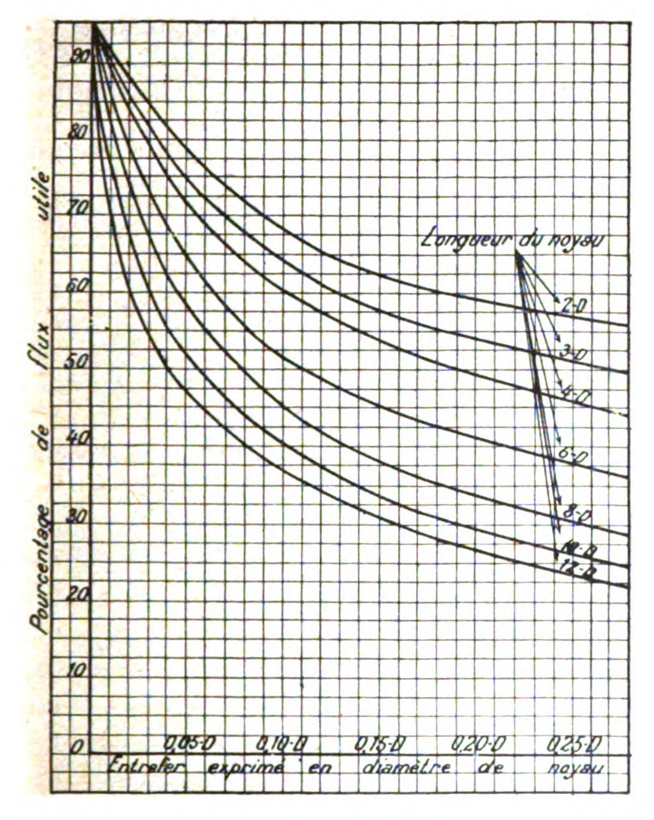


Fig. 2. — Relais à un seul noyau : Courbes du pourcentage de flux utile pour différents entrefers et différentes longueurs de noyau.

tique de la part des organes voisins dans le cas où le relais est en série ou en dérivation sur un circuit microphonique.

L'étude qui suit portera surtout, parmi tous les points qui viennent d'être énumérés, sur les suivants :

1° Détermination du circuit magnétique ;

2° Méthode de calcul des enroulements et de leur échauffemen

3° Considérations qui déterminent la forme optimum des bobines.

4° Discussion des modèles de relais les plus courants actuellement en usage.

1° *Détermination du circuit magnétique.* — Nous supposons que les valeurs de l'attraction magnétique et de la course de l'armature

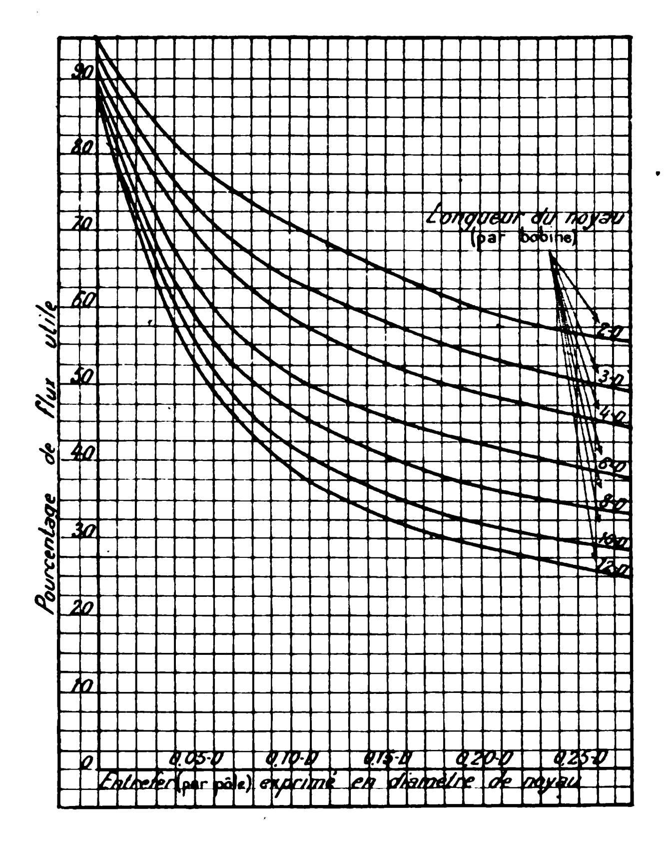


Fig. 3. — Relais bipolaires à deux noyaux · Courbes du pourcentage de flux utile pour différents entrefers et différentes longueurs de noyau.

ont été déterminées ainsi que nous l'avons vu plus haut, et nous allons passer au calcul du circuit magnétique.

Les données fondamentales qui fixent les dimensions de ce circuit sont : l'induction dans le noyau, le champ dans l'entrefer, et le coefficient de fuite, c'est-à-dire le rapport du flux qui traverse l'entrefer au flux total dans les noyaux.

L'auteur a constaté, par l'étude expérimentale d'un grand

nombre de relais, de formes et de dimensions très différentes, que le coefficient de fuite est fonction uniquement des rapports : $\frac{\text{distance d'entrefer}}{\text{diamètre du noyau}}$ et $\frac{\text{longueur du noyau}}{\text{diamètre du noyau}}$.

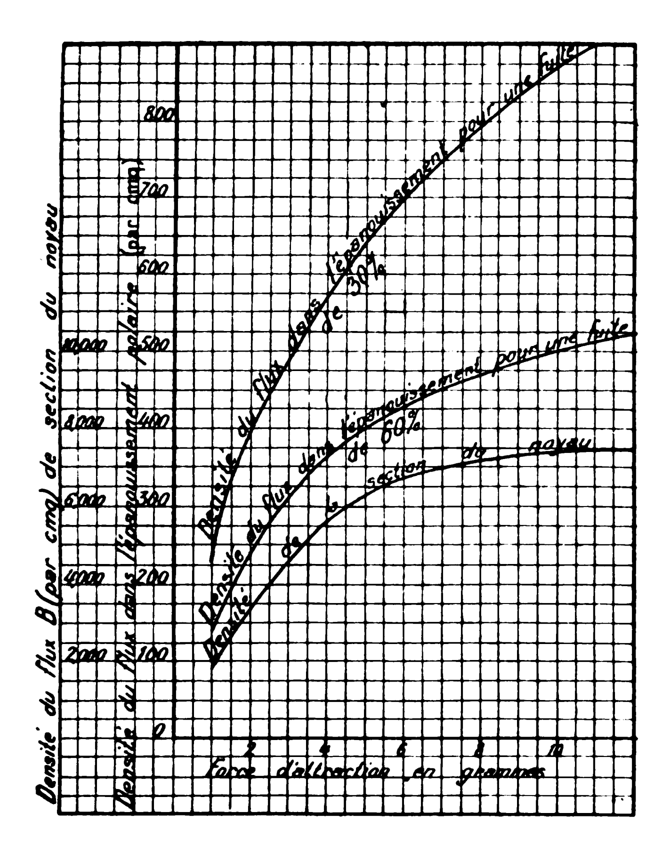


Fig. 4. — Courbes de la densité du flux dans la section du noyau et dans l'épanouissement polaire, par rapport à l'attraction magnétique.

Les courbes des figures 2 et 3 donnent graphiquement la forme de cette fonction. La figure 2 est relative aux relais à un seul noyau avec retour du flux par le bâti, et la figure 3 est relative aux relais bipolaires à deux noyaux.

En abscisses, sont portées les rapports de la distance d'entrefer au diamètre du noyau depuis 0,05 jusqu'à 0,25, et les ordonnés représentent le pourcentage de flux utile. Chaque courbe correspond à

une valeur différente du rapport de la longueur au diamètre du noyau, depuis 2 jusqu'à 12.

Dans le cas où l'électro-aimant est muni d'épanouissements polaires, la distance d'entrefer qui figure dans les rapports ci-dessus

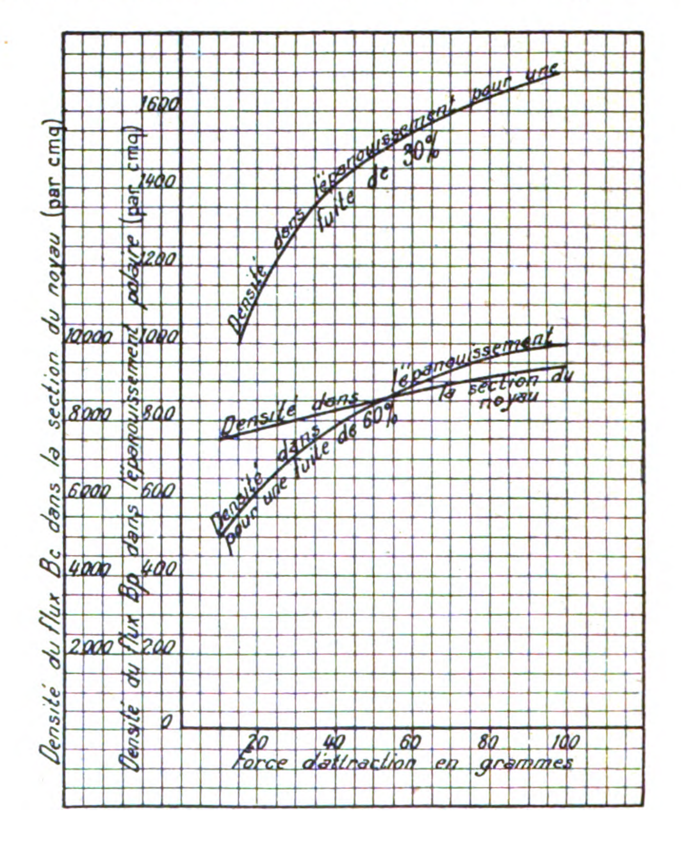


Fig. 5. — Courbes de la densité du flux dans la section du noyau et dans l'épanouissement polaire, par rapport à l'attraction magnétique.

doit être réduite dans le rapport de la section du noyau à la surface d'un pôle.

Les valeurs admissibles pour les inductions dans le fer et dans l'entrefer dépendent surtout des conditions économiques. Ainsi, une induction élevée conduit à un noyau de faible section et par suite à un appareil de dimensions réduites et peu coûteux ; mais le passage du flux dans le fer absorbe un grand nombre d'ampère-tours, et par suite un courant intense est nécessaire.

Si le relais est en service presque permanent, il faudra réduire es dépenses de courant et admettre une faible induction dans le fer. Au contraire, pour les relais qui sont très peu souvent employés, on aura avantage à admettre une grande induction dans le fer. Dans

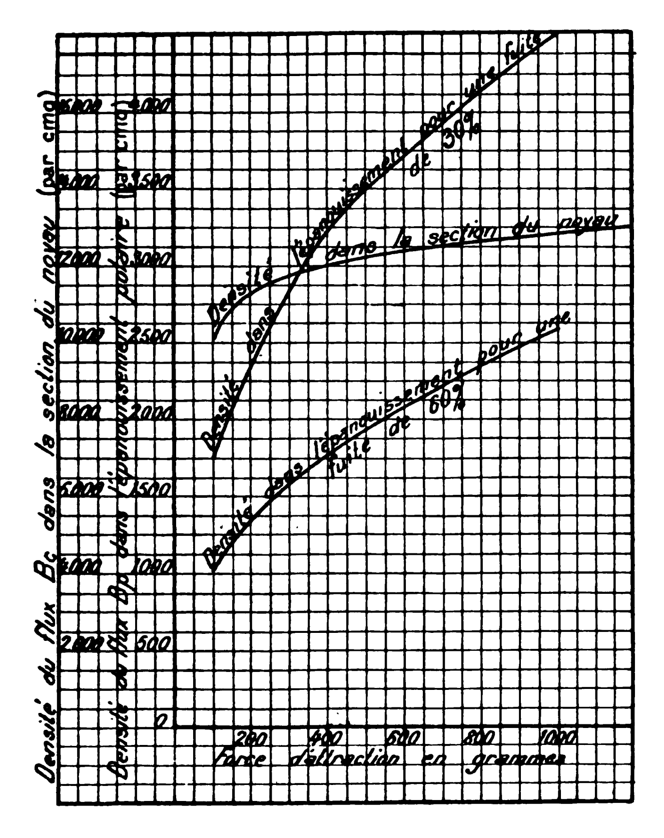


Fig. 6. — Courbes de la densité du flux dans l'épanouissement polaire et dans la section du noyau, par rapport à l'attraction magnétique. Ces courbes sont tracées en supposant que la surface de l'épanouissement polaire est plus grande que la section du noyau.

ce cas, la réduction des dimensions sera limitée par l'échauffement des bobines.

L'auteur donne, dans les figures 4 à 7, des courbes qui permettent de déterminer en pratique les inductions dans le fer et dans l'entrefer pour les relais usuels. Ces indications n'ont rien d'absolu, et on devra tenir compte largement, dans chaque cas, des conditions particulières dans lesquelles le relais est appelé à fonctionner.

Une indication générale sur les matériaux magnétiques qu'il convient d'employer est la suivante. Dans les appareils qui doivent fournir un effort mécanique considérable, on est amené à imposer au fer une induction élevée. Il y a alors intérêt à employer une

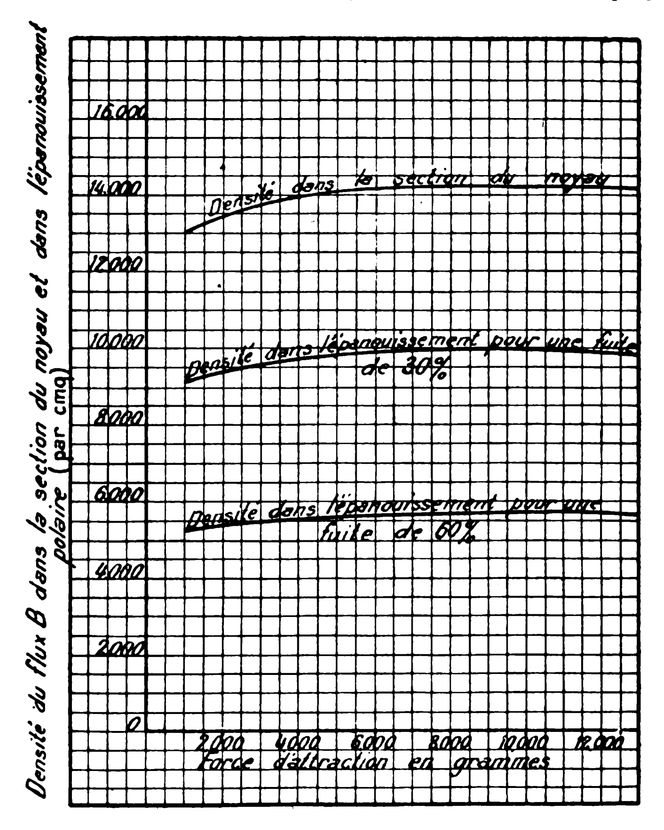


Fig. 7. — Courbes de la densité du flux dans l'épanouissement polaire et dans la section du noyau, par rapport à l'attraction magnétique. Ces courbes sont tracées en supposant qu'entre 1 000 et 10.000 grammes on utilise une surface utile de l'épanouissement polaire égale à la section du noyau.

substance de haute perméabilité. Dans ce cas, la faiblesse de la force coercitive a moins d'importance, car la force de rappel est grande. Au contraire, pour les petits relais, l'induction est relativement faible, et la considération de la perméabilité est moins importante. Mais la faible force coercitive a, dans ce cas, une importance capitale. Le métal le mieux approprié à cette condition

est l'acier au silicium, contenant un pourcentage relativement élevé de silicium et recuit dans le vide. Certains alliages d'acier au nickel possèdent aussi une très faible induction résiduelle et sont tout indiqués pour les relais de 50 grammes ou moins.

2° *Formules des bobinages.* — Avant d'étudier les conditions économiques qui déterminent la forme des bobines, nous allons considérer les formules qui donnent le nombre de spires dans une bobine et les conditions d'échauffement.

Dans un bobinage, les spires peuvent être superposées (fig. 8, I) ou imbriquées (fig. 8, II). En pratique, la distribution des fils est intermédiaire entre ces deux dispositions; et, en appelant A la surface d'une demi-section longitudinale de la bobine, N le nombre de spires, et d le diamètre du fil nu, on a :

$$\frac{A}{N} = K,$$

où K est donné par le tableau ci-dessous :

N^{os} B & S.	Valeurs de K en cmq/spire	
	fil émaillé	fil sous soie
21	0,0058	0,0060
22	0,0046	0,0049
23	0,0037	0,0040
24	0,0028	0,0031
26	0,0018	0,0020
28	0,0012	0,0014
30	0,00077	0,00097
32	0,00050	0,00069
34	0,00033	0,00053
36	0,00022	0,00037
38	0,00014	0,00028

La résistance d'une bobine est alors :

$$R = \pi r N (C_2 + \Delta),$$

où C_2 est le diamètre intérieur du bobinage (fig. 8, III),

Δ l'épaisseur des couches,

r la résistance du fil par unité de longueur.

3° *Échauffement.* — Partant du principe que la quantité de chaleur Q dt, fournie par le courant d'excitation pendant un temps

dt, est égale à la somme de la quantité de chaleur $\rho T\,dt$ dissipée à travers la surface de la bobine dans le milieu ambiant et de la quantité de chaleur $S\,dT$ employée pour élever la température de l'enroulement de dT; et, d'autre part, en se basant sur la formule

$$R_T = R_0 \frac{234{,}5 + T}{234{,}5},$$

qui donne la résistance R_T du cuivre en fonction de la température

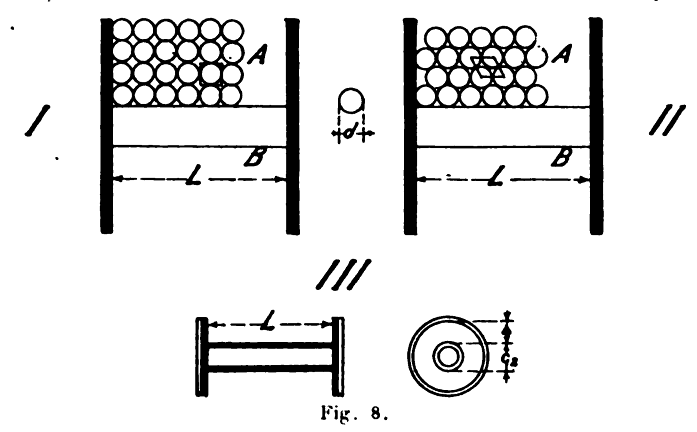


Fig. 8.

T, R_0 étant la résistance à 0° C, l'auteur établit les formules suivantes, dans lesquelles T_f est la température limite atteinte par le relais, et A_1 la surface latérale des bobines :

A puissance consommée (E I) constante, on a :

$$T_f = \frac{K_1\,E\,I}{A_1} + 20;$$

A courant I constant :

$$T_f = \frac{5090\,A_1 + 234{,}5\,K_1\,R_{20}\,I^2}{254{,}5\,A_1 - K_1\,R_{20}\,I^2};$$

A différence de potentiel constante :

$$T_f = -107 + \sqrt{16.000 + \frac{254{,}5\,K_1\,E^2}{A_1\,R_{20}}},$$

K_1 étant un coefficient qui varie légèrement avec la forme du relais, mais dont la valeur moyenne est de 360 pour un relais à une seule bobine et de 270 pour un relais à deux bobines. Il est important de remarquer qu'un relais calculé de manière à fonctionner à la limite

de température à différence de potentiel constante, chaufferait excessivement s'il était actionné à puissance constante ou à courant constant.

4° *Dimensionnement des bobines.* — La figure 9 donne les ampère-tours développés en fonction du rapport $\frac{\text{épaisseur de l'enroulement}}{\text{diamètre du noyau}}$

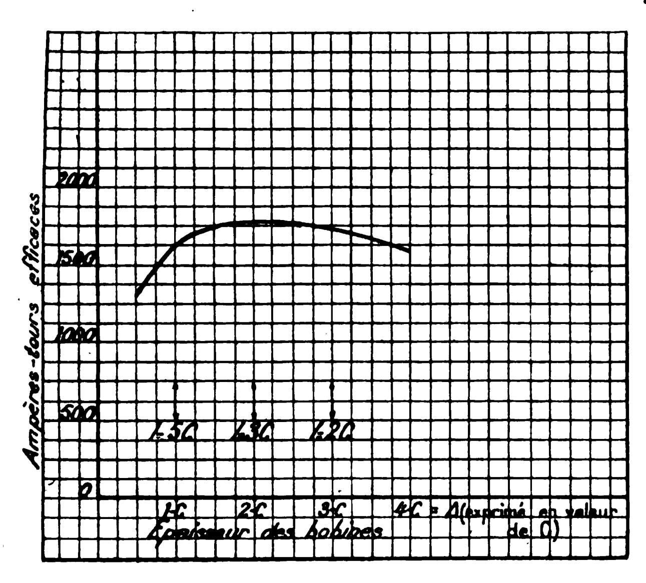


Fig. 9. — Rapport entre l'épaisseur des bobines, le diamètre du noyau et les ampère-tours efficaces.

pour des bobines absorbant la même puissance et ayant la même surface latérale pour dissiper la chaleur produite.

La figure 10 donne les ampère-tours en fonction du volume de l'enroulement dans les mêmes conditions.

On voit sur la figure 9 que le nombre maximum d'ampère-tours est obtenu en donnant à la bobine la forme I de la figure 11.

Mais la figure 10 montre que le nombre d'ampère-tours diminue peu rapidement avec le volume de cuivre ; et, comme celui-ci détermine le prix de l'appareil, on aura souvent intérêt à allonger la bobine, ainsi que le montrent les figures 11 (I) et 11 (II).

Ainsi, la bobine III a un volume égal à 0,3 fois seulement le volume de la bobine (I), et la diminution du nombre d'ampère-tours n'est que de 30 %.

Discussion des relais « Flat Type » de la Western Electric C°. — A part quelques vis, les pièces constitutives de ces relais sont obtenues entièrement par estampage et emboutissage. Ce procédé de construction permet une construction très économique en grande

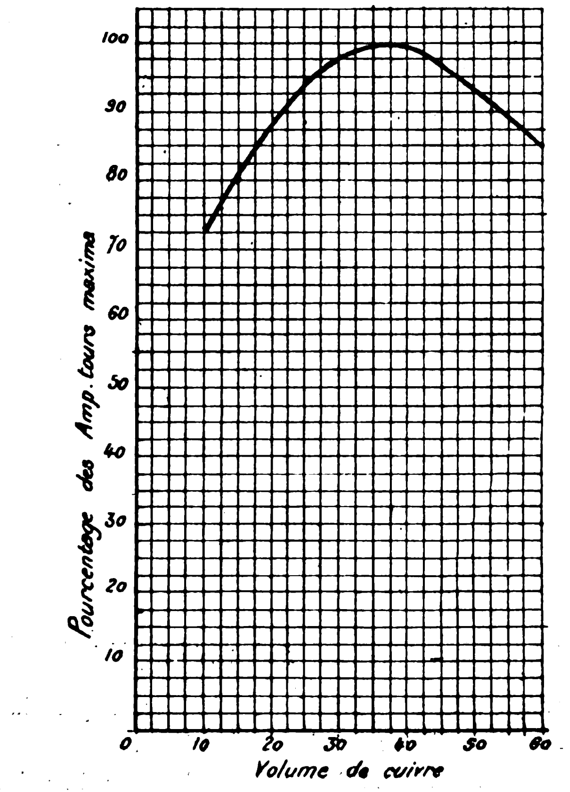


Fig. 10. — Ampère-tours maxima en fonction du volume de cuivre.

série, et les pièces obtenues sont parfaitement interchangeables, ce qui est très avantageux pour le montage et les réparations.

Les ressorts de contact sont en maillechort, et chacun est ajusté de manière à exercer une pression de 15 grammes sur le contact qu'il ferme.

Lors de l'ouverture, les contacts sont séparés d'un quart de millimètre; et, à la fermeture, ils se « suivent » pendant au moins un dixième de millimètre, pour tenir compte d'une usure possible des contacts.

La force mécanique exercée par le relais sur son armature est d'au moins 20 grammes par contact.

Les joues des bobines et les plaquettes isolantes des ressorts sont en « phenol fibre », matière bien supérieure à l'ébonite au point de vue des dilatations dues aux changements de température et des risques d'incendie.

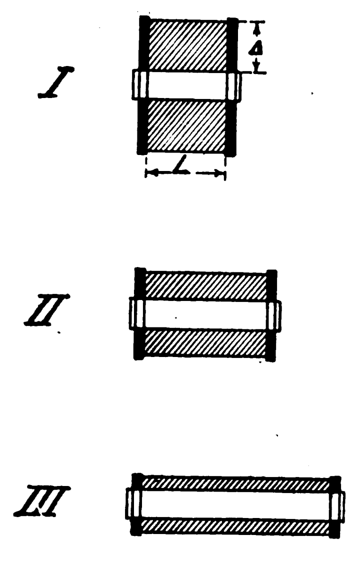


Fig. 11. — I. Type A; $v = 3{,}65$ pouces cubiques; $L = 3N$; $\Delta = 2N$. Ampère-tours efficaces plus élevés, mais dépenses plus grandes.
II. Type B.; $v = 2{,}00$ pouces cubiques; $L = 5N$; $\Delta = N$. Par rapport au type A, diminution de 10 % dans les ampère-tours efficaces, mais le volume de cuivre est réduit de 45 %.
III. Type C; $v = 1{,}10$ pouce cubique; $L = 7{,}5$ N; $\Delta = 1/2$ N. Frais de premier établissement moins élevés; 70 % en moins de cuivre que pour le type A. Diminution de 30 % dans les ampère-tours efficaces.

Ces relais sont construits normalement avec tous les groupes de contacts indiquées sur la figure 1. De plus, l'un quelconque de ces groupes peut être combiné avec n'importe quel autre, ce qui permet, en pratique, 377 combinaisons.

Les bobinages ont été étudiés de manière à réduire au minimum le prix de revient annuel total, c'est-à-dire la somme de la dépense annuelle de courant et de l'amortissement.

La figure 12 porte en abscisses les prix de premier établissement

*

et en ordonnées les prix de revient annuel total. Les courbes 1, 2, 3, 4 se rapportent respectivement à des relais mis en service 600,

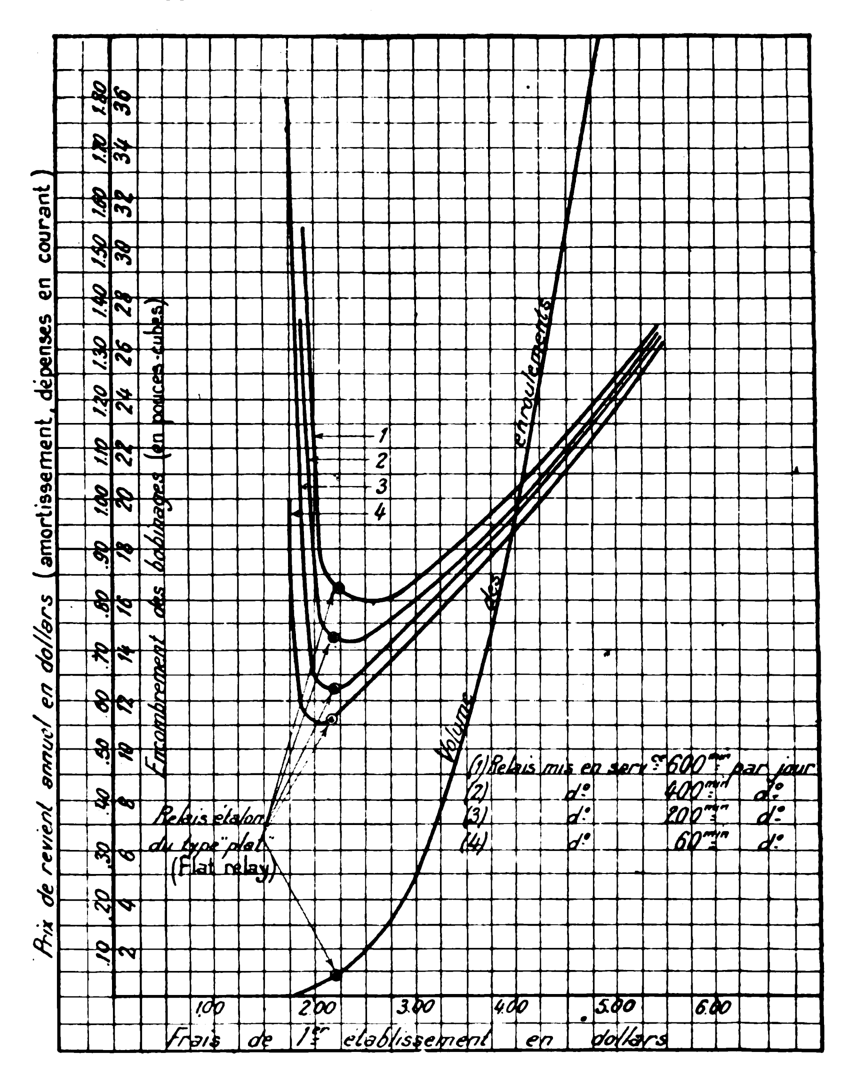
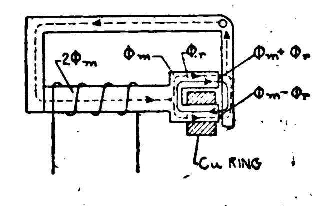


Fig. 12.

400, 200 et 60 minutes par jour. Les points encerclés placés sur ces courbes se rapportent aux types des *Flat relays*. On voit que ces points sont très voisins des minima.

Enfin un problème particulièrement intéressant se rencontre dans les relais qui doivent être actionnés par un courant alternatif de sonnerie, par exemple.



La première figure 13 montre la solution adoptée : le noyau porte deux pôles dont l'un est entouré par un anneau de cuivre massif. Le courant induit dans cet anneau retarde sur la force électromotrice imposée dans l'enroulement et crée un flux qui se ferme en passant par les deux noyaux. Ce flux Φ_r retarde sur la force électromotrice imposée, tandis que le flux Φ_m, dans la pièce polaire non entourée par l'anneau de cuivre, avance sur E_s.

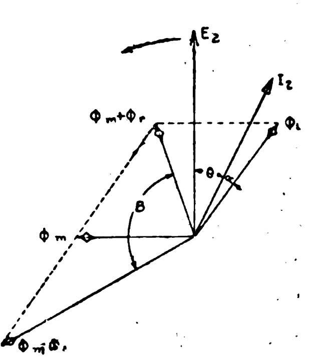


Fig. 13.

Les flux dans les deux pôles sont $\Phi_m + \Phi_r$ et $\Phi_m - \Phi_r$ qui ne sont jamais nuls en même temps. L'armature est donc constamment attirée, malgré les passages par zéro du courant d'excitation.

L'alimentation des centraux téléphoniques importants

(Karl Schmidt, dans l'*E. T. Z.* : 3 juillet 1924). — Tout en conservant la même sécurité de fonctionnement, il est possible, dans les centraux téléphoniques, de se passer des batteries d'accumulateurs. Grâce au procédé indiqué par l'auteur (procédé qui a été mis à l'essai dans les bureaux de Berlin-Wilmersdorf et de Chemnitz où il a donné d'excellents résultats) et grâce au montage convenable d'une dynamo à essence de secours ainsi qu'à l'augmentation des masses, formant volant, des convertisseurs, il est pratiquement possible de laisser de côté les batteries d'accumulateurs.

On sait que, dans les grands centraux téléphoniques fonctionnant d'après le système dit « à batterie centrale », on utilise une tension de 24 volts pour alimenter les microphones et les lampes de signalisation ; cette tension a été portée à 60 volts pour les bureaux

automatiques. Jusqu'ici, ces tensions sont fournies par des batteries d'accumulateurs, que l'on charge à l'aide de convertisseurs spéciaux. En général, les convertisseurs sont actionnés par un électromoteur branché sur le réseau de distribution d'énergie électrique. D'ordinaire, on emploie deux batteries d'accumulateurs à 12 ou 30 éléments; l'une d'elles assure le service pendant que l'autre est en charge. Récemment, et surtout dans le cas d'une importante consommation de courant, on a monté une dynamo de charge en parallèle avec la batterie et le réseau téléphonique, de sorte que la batterie joue le rôle de batterie-tampon. Ce procédé est avantageux au point de vue économique, mais il présente l'inconvénient suivant : les bruits de machines, surtout lorsqu'on utilise des dynamos ordinaires, sont entendus dans les récepteurs téléphoniques et sont parfois fort gênants. On sait que les dynamos à courant continu ne débitent pas seulement du courant continu, comme c'est le cas pour une batterie d'accumulateurs : à ce courant se superposent des courants alternatifs, dont l'amplitude est, à la vérité, très faible. Ils sont dus à des dissymétries électriques et magnétiques provenant de ce que la surface d'induit des dynamos n'est pas régulière puisqu'elle comprend alternativement des dents et des rainures ; chaque fois qu'une dent passe devant la pièce polaire, il se produit une pulsation magnétique, qui, à son tour, induit un courant alternatif dans le bobinage d'induit. D'autre part, il se produit des pulsations magnétiques dans l'induit, causées par le mouvement des bobines court-circuitées par les balais. Enfin, du fait de la commutation, il se produit des variations dont la fréquence dépend du nombre des lamelles du commutateur. La position de l'induit par rapport aux pièces polaires est aussi de première importance : si l'induit est dans une position excentrique par rapport aux pièces polaires, il se produit des courants perturbateurs à basse fréquence.

Les courants alternatifs dus à ces différentes causes se superposent dans l'induit au courant continu. Dans un téléphone relié à la dynamo à courant continu à travers un condensateur, on entend un fort bruit, comparable à l'écho de la machine en marche. C'est pourquoi, jusqu'ici, on a toujours utilisé des batteries d'accumulateurs

dans les centraux téléphoniques. Pour des raisons de sécurité de fonctionnement du réseau téléphonique, on considère qu'il est absolument nécessaire de recourir à une batterie d'accumulateurs, car elle constitue une réserve de courant dans les cas où, pour une cause quelconque, le réseau de distribution cesse de fonctionner pendant un laps de temps assez court; on évite ainsi des suspensions brusques du trafic, toujours très désagréables, mais plus encore quand il s'agit de centraux automatiques. Mais, en cas d'interruption prolongée (en cas de grève des électriciens, notamment), la sécurité que procurent les accumulateurs est bien précaire, car la batterie, qui n'est jamais très grosse, ne peut guère assurer la continuité du service téléphonique que pendant quelques heures seulement. L'expérience prouve qu'en cas de troubles de ce genre on ne peut plus établir de communications téléphoniques ordinaires; la batterie est réservée à l'établissement des communications importantes; donc elle n'est pas déchargée complètement.

Pour remédier à ces difficultés, on a imaginé récemment des dispositifs de secours, composés d'un moteur à combustion et d'une dynamo; ils servent à charger la batterie des centraux téléphoniques en cas de perturbations sur le réseau local. Si l'on considère que le prix d'achat des batteries et leurs frais d'entretien sont très élevés, si l'on remarque que leur durée de service est plutôt limitée, on voit qu'il faut s'efforcer, par tous les moyens, de se passer des batteries d'accumulateurs dans les centraux téléphoniques. Nous allons voir si la chose est possible.

Nous allons indiquer comment on peut alimenter un central téléphonique sans recourir à une batterie, et montrer que la sécurité de fonctionnement des installations est au moins aussi grande qu'avec l'ancien système d'alimentation.

Avant tout, il faut arriver à supprimer les courants alternatifs qui se superposent au courant continu et sont la cause de bruits parasites. La première idée qui se présente, c'est de construire une dynamo spéciale, capable de débiter du courant continu absolument pur. Différentes maisons ont réussi à construire des machines spéciales, qui, montées en parallèle avec des batteries d'accumulateurs, ournissent un courant qui ne cause dans les téléphones qu'un

bruit extrêmement faible. Mais les difficultés augmentent lorsqu'on a besoin d'une tension plus élevée, comme c'est le cas pour les centraux automatiques. Si l'on s'obstinait à chercher la solution dans le sens que nous venons d'indiquer, le résultat serait douteux. D'ailleurs, les dynamos construites spécialement reviennent très cher, et on a constaté qu'elles étaient parfois cause de courants parasites dus à des variations tantôt mécaniques, tantôt électriques. Enfin ces dynamos ne peuvent servir que si on les monte en parallèle avec une batterie; sans cette dernière, les courants perturbateurs sont encore sensibles.

Pour remédier aux bruits gênants perçus dans les écouteurs, il existe un autre procédé, consistant dans l'emploi de fortes bobines de réactance ; mais elle ne suffisent pas à éliminer ces bruits complètement, si grosses soient-elles. On a donc eu l'idée de recourir à des condensateurs montés en parallèle et formant un circuit bouclé pour les courants perturbateurs. Le calcul suivant montre qu'on n'atteint pas le but poursuivi, même avec des condensateurs de grande capacité.

Si, comme on l'a fait souvent, on monte en parallèle sur la dynamo un condensateur de 100 microfarads, on obtient une résistance de capacité

$$X_c = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi \times 250 + 10^{-4}} = 6,^{O}3,$$

en supposant que la fréquence perturbatrice soit de 250 pér./sec.

On voit que la résistance n'est pas tellement grande qu'elle puisse jouer un rôle, surtout si on la compare à la résistance intérieure de la batterie ; même avec une capacité dix fois plus forte, on n'obtiendrait pas d'effet appréciable. On peut donc conclure que la mise en parallèle de condensateurs ne produit pas l'effet cherché.

Les conditions sont meilleures lorsqu'on monte des bobines de réactance en série sur le circuit de la dynamo. Mais le calcul montre qu'ici encore le résultat pratique fait défaut. En supposant que l'inductance d'une bobine soit d'un henry, on a, pour la résistance :

$$X_L = \omega L = 2\pi \times 250 \times 1 = 1.570 \text{ ohms}.$$

Si l'on monte, en parallèle avec la machine, une batterie dont la

résistance intérieure est de l'ordre de $0^{\Omega},005$, on obtient le résultat suivant.

Des essais pratiques ont montré que des courants alternatifs, pouvant atteindre un ampère, traversaient parfois la batterie ; ceci représente une tension alternative de $1 \times 0{,}005 = 0{,}^{V}005$. Le téléphone et la ligne ayant une résistance de 500 ohms environ, on obtient un courant de $1^{A} \times 10^{-5}$, qui produit encore de forts bruits dans les récepteurs. En recourant à une bobine de réactance d'un henry, le courant perturbateur tombe à $2{,}^{A}5 \times 10^{-6}$; mais il est encore cause de bruits parasites, car le téléphone enregistre facilement des courants de l'ordre de $1^{A} \times 10^{-6}$. Avec une inductance supérieure à un henry, on pourrait peut-être éliminer les bruits gênants ; mais, pratiquement, la chose est impossible, car une bobine d'un henry aurait déjà des dimensions énormes ; l'effet obtenu serait donc hors de proportion avec les dépenses en matériel.

L'auteur a réussi à obtenir un courant continu absolument pur en appliquant le procédé suivant, couvert par le brevet allemand n° 390.605. Si, dans un circuit, on monte une source de courant continu g (fig. 1) en série avec une source de courant alternatif W, il se produit un courant ondulatoire dans l'appareil de consommation V_1, qui peut être un microphone, par exemple. On peut séparer le courant ondulatoire du courant continu en intercalant sur le circuit un transformateur $S_1 - S_2$; le primaire S_1 est relié aux bornes de la dynamo W, et le secondaire S_2 se trouve dans le circuit proprement dit. Il faut monter le secondaire de telle façon que la tension induite par le courant d'alimentation soit de sens contraire, de sorte que la somme des tensions alternatives engendrées soit toujours nulle. Par suite, l'appareil de consommation V_2 est parcouru par un courant continu pur.

Mais une dynamo à courant continu produit aussi, nous l'avons vu, un courant alternatif sous forme de courants perturbateurs. Si l'on veut se débarrasser du courant alternatif, il ne faut pas relier le transformateur directement aux bornes de la dynamo, car on créerait ainsi, dans le primaire, un court-circuit pour le courant continu. En recourant à un condensateur, on pourrait laisser passer le courant

alternatif nécessaire à l'aimantation du transformateur ; d'autre part, ce condensateur barrerait la route au courant continu. Mais la mise en circuit d'un condensateur aurait pour conséquence un décalage de phase dans le circuit excitateur du transformateur, et une compensation de la tension alternative ne pourrait se réaliser. Si, à la place du condensateur, on emploie une petite batterie débitant 10 ampères-heure environ, sous une tension du même ordre que celle de la dynamo, on obtient le résultat voulu. Comme la figure 2 l'indique, l'enroulement S_1 est parcouru par le courant d'aimantation de l'auto-transformateur, qui induit dans S_2 une contre-tension correspondante, si bien qu'on peut protéger complètement le

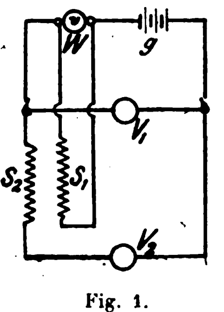


Fig. 1.

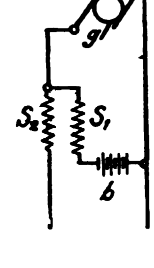


Fig. 2.

téléphone contre les courants parasites, à condition de choisir judicieusement le rapport de transformation entre S_2 et S_1. Comme ce rapport est sensiblement égal à l'unité, on peut se servir avec avantage d'un auto-transformateur dont le rapport de transformation est variable dans d'étroites limites. Si l'on rendait ce rapport rigoureusement égal à l'unité, une compensation parfaite deviendrait impossible. Aux bornes de S_2 (fig. 2), il existe une tension induite moindre que la tension aux bornes de la dynamo, car la chute de tension du courant d'aimantation diminue d'autant la tension aux bornes de S_1. C'est pourquoi S_2 doit accuser une tension toujours un peu plus élevée. Comme l'auto-transformateur est aussi parcouru par la totalité du courant continu, le noyau de fer serait saturé par aimantation en courant continu, et l'aimantation en courant alternatif resterait sans effet. Il est donc nécessaire que l'auto-transformateur soit pourvu d'un entrefer relativement grand.

Il faut aussi que la répartition de la self-induction se fasse, par rapport à la résistance ohmique, de telle façon que le vecteur de la force électromotrice arrive à être en phase avec la tension aux bornes P. Sur la figure 3, I_m = courant d'aimantation ; PQ = chute de tension d'après la loi d'Ohm = $I_m R$, et QE = $I_m x$.

$I_m R$ doit être tel, par rapport à $I_m x$, que le vecteur E concorde avec le vecteur P, c'est-à-dire qu'il y ait concordance de phases. Si, par exemple, $I x$ était plus grand, E passerait en E_1 ; il y aurait un décalage de phases entre P et E (angle Ψ) ; par suite une compensation parfaite serait impossible.

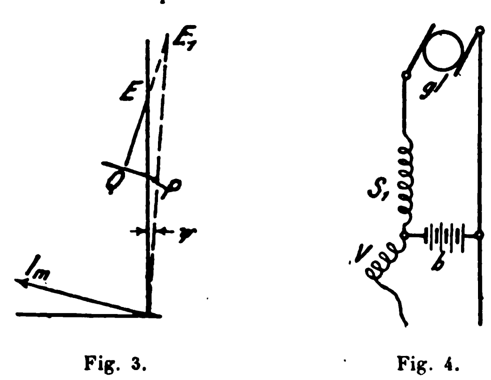


Fig. 3. Fig. 4.

D'après ce qui précède, il faut que l'auto-transformateur soit conditionné de manière à ce qu'on puisse monter, en série avec l'enroulement, une bobine mobile, couplée n'importe comment avec le flux de force magnétique du transformateur. A l'aide de cette bobine mobile, on peut réaliser une compensation parfaite.

La figure 4 représente schématiquement le transformateur tel qu'il est construit pratiquement. Il comprend une seule bobine S_1, en série avec la bobine mobile V. La batterie est branchée au point de jonction de la bobine fixe avec la bobine mobile. La tension additionnelle dans la bobine V est induite par les lignes de dispersion qui se forment dans l'entrefer du transformateur. La figure 5 représente un auto-transformateur utilisé au central de Chemnitz. A gauche, on voit la bobine mobile enroulée sur un noyau de fer.

L'avantage procuré par ce transformateur sautait aux yeux. Une batterie du central ayant cessé d'être utilisable, il avait fallu faire

fonctionner sans arrêt la dynamo montée en parallèle avec la batterie en service. Les courants perturbateurs étaient très intenses, et les téléphonistes se plaignaient d'avoir à les supporter du commencement à la fin de leur vacation, et par suite d'être exposées à des troubles nerveux. Sitôt après la mise en circuit de l'auto-transformateur, les bruits parasites cessèrent complètement ; on put également assurer le service directement avec la dynamo en lui associant une petite batterie comme il a été dit plus haut ; là encore, tout bruit perturbateur avait cessé.

Les renseignements suivants, relatifs au transformateur, intéresseront, sans doute, les lecteurs.

Le transformateur comprend en tout 39 enroulements : la section totale du cuivre est de 210^{mmq} ; sa résistance ohmique est de $0^{O},004$; celle de la bobine mobile, de $0^{O},0015$. Pour un courant continu de 300 ampères, le coefficient de self-induction mesuré est de $2^{H} \times 10^{-3}$, c'est-à-dire qu'il a une valeur relativement très faible. L'intensité normale du courant de charge est de 300^{A} ; la tension du réseau importe peu ; dans le cas actuel, elle était de 24 volts. L'emploi du transformateur décrit ci-dessus est déjà avantageux du seul fait qu'il dispense d'entretenir une deuxième batterie.

A première vue, il semble impossible de se passer de la batterie d'accumulateurs, car il ne faut pas qu'il se produise d'arrêt dans l'alimentation ; les conséquences seraient particulièrement désastreuses dans le cas de centraux automatiques. Les accumulateurs sont évidemment commodes et d'un fonctionnement sûr, mais ils présentent aussi des inconvénients sur lesquels nous ne nous étendrons pas ici ; toujours est-il qu'un grand progrès serait réalisé si l'on pouvait s'en passer.

L'auteur propose de substituer une source mécanique de courant à une source électrique, et nous allons voir que le fonctionnement des installations téléphoniques serait aussi sûr qu'avec des batteries d'accumulateurs.

Le dispositif préconisé consiste en un groupe moteur-générateur à essence qui pourrait être mis en service en quelques secondes seulement. Au cas où le courant du réseau électrique viendrait à manquer, et en attendant que le moteur à essence fonctionne nor-

malement, on trouverait une réserve d'énergie dans le convertisseur, énergie qu'on règle à volonté en donnant des dimensions judicieuses à la roue formant volant.

Un calcul très simple montre qu'avec des roues de dimensions raisonnables on peut entretenir pendant dix secondes environ la tension nécessaire, même si le nombre des révolutions diminue de 40 %. Pendant ce temps, le moteur à essence a pris son régime ; un moteur moderne pour automobile donne sa pleine force en cinq secondes environ. Dans l'état actuel de la technique, il est possible,

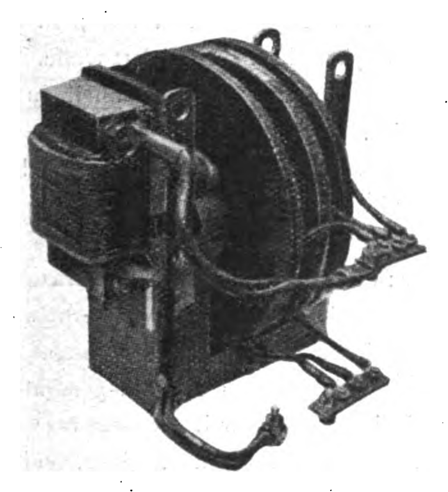


Fig. 5. — Auto-transformateur.

dès que le courant du réseau fait défaut, de faire fonctionner automatiquement l'interrupteur principal ; le champ de la dynamo du transformateur au réseau augmente progressivement, et celle-ci donne une tension sensiblement constante pendant que le nombre de révolutions diminue peu à peu. Dès que le groupe moteur-générateur débite, la dynamo du transformateur au réseau est mise automatiquement hors circuit. La technique des commutations a fait de si grands progrès, qu'on ne doit pas hésiter à employer des interrupteurs automatiques ; leur construction a été perfectionnée au point qu'ils ne doivent pas réserver de mécomptes. Naturellement, on peut élever plusieurs objections contre le système proposé par l'auteur, objections basées soit sur des considérations d'ordre éco-

nomique, soit sur le caractère pratique du système lui-même. Mais le technicien avisé jugera d'un même coup d'œil ses avantages et ses inconvénients; au point de vue économique, le système est supérieur aux batteries d'accumulateurs. Par exemple, on économise les rais de surveillance; un machiniste n'est plus nécessaire, car le système fonctionne sans qu'on ait à intervenir.

Comme il faut en permanence un transformateur en service, il est judicieux d'en prévoir deux au moins, ayant une puissance différente : le plus fort assurera le service pendant la journée; l'autre servira le soir et pendant la nuit; on pourra aussi faire appel aux deux pendant les heures à fort trafic. Les frais d'alimentation sont réduits, car on n'a plus à souffrir du rendement défectueux des batteries.

L'installation étant peu encombrante, la chambre des accumulateurs pourra servir à d'autres fins.

Les détériorations des convertisseurs ne se produisent guère qu'au collecteur; dans le cas d'appareils bien construits, il faut des années pour qu'ils soient hors de service. Après dix ans au maximum, il faut remplacer les batteries d'accumulateurs, car elles sont alors inutilisables; les groupes moteurs-générateurs à essence ne s'usent pour ainsi dire pas, car il est assez rare qu'on ait recours à eux. Il est très rare dans les grandes villes, qu'il se produise, sur les lignes de distribution, des arrêts qui paralysent les installations téléphoniques. Bien entendu, pour des raisons de sécurité, il serait bon de faire fonctionner la dynamo à essence de temps à autre. Du fait qu'on ne l'utilise que rarement, elle n'est pas sujette à usure rapide; elle ne devra être remplacée qu'après de nombreuses années. On peut donc dire que la dynamo à essence garantit une plus grande sécurité de fonctionnement que les accumulateurs; les batteries ne peuvent assurer l'écoulement du trafic que pendant quelques heures, tandis qu'avec les dynamos à essence le débit peut être assuré aussi longtemps qu'on le veut.

Mesures en radio-fréquence : *Méthode rapide de mesure de la résistance effective et de l'inductance des bobines et des conducteurs rectilignes ; emploi d'un condensateur et d'une résistance*

variables au lieu d'un inducteur variable (A. Hund, *Electrical World* : 8 novembre 1924). — La résistance effective des bobines utilisées en T.S.F. varie avec la fréquence ; les variations sont dues à l'effet pelliculaire (skin effect) et à des effets de capacité. L'effet résultant peut, dans certains cas, donner une résistance effective en radio-fréquence qui est plus faible que la résistance mesurée en courant continu, quoique, dans d'autres cas, on puisse s'attendre à une résistance d'un ordre plus élevé.

La méthode de mesures décrite par l'auteur il y a quelques

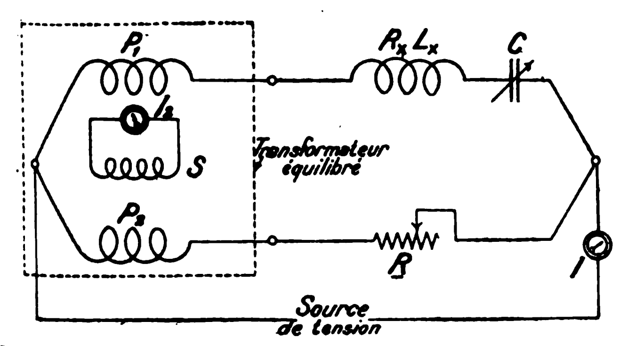


Fig. 1. — Emploi d'un condensateur et d'une résistance variables.

années (1) est rapide, mais elle a l'inconvénient de nécessiter l'emploi d'un inducteur variable. Pour la plupart des laboratoires, c'est un inconvénient sérieux, car la résistance de l'inducteur varie non seulement avec la fréquence, mais encore avec la position relative qu'occupent les bobines mobiles et fixes. Il en est de même pour l'inductance effective, puisque la fréquence influe également sur celle-ci. Il faut donc recourir à de nombreuses courbes d'étalonnage.

Méthode. — La méthode schématisée sur la figure 1 ne soulève plus les mêmes objections, puisque un condensateur à air C et une résistance R, tous deux variables, remplacent l'inducteur. L'étalonnage de ces deux organes est relativement simple, et, si leur construction est correcte, il sera indépendant de la fréquence.

Appelons P_1 et P_2 les primaires d'un transformateur à air équilibré ; ils sont identiques l'un à l'autre ; les enroulements sont

(1) *Electrical World*, 20 novembre 1915.

symétriques et de sens contraire par rapport à l'enroulement secondaire S. L'instrument de lecture I_2, placé dans le circuit secondaire, sera au point zéro lorsque les courants qui parcourent les deux branches différentielles auront même amplitude et seront en phase. Ceci ne peut avoir lieu que lorsque l'inductance L_x est en accord avec la capacité C du condensateur à air étalon et lorsque la résistance R_x de la bobine est équilibrée par la résistance étalon R montée dans l'autre branche. En pareil cas, on a :

$$R_x = R,$$

$$L_x \text{ (en henrys)} = 1/4\,\pi^2 f^2 C, \qquad (1)$$

la capacité C étant exprimée en farads et la fréquence f du courant d'excitation en périodes par seconde (1).

Application. — Il est bon de procéder de la manière suivante :

1° La bobine en essai est montée en série avec un condensateur variable C dans une branche différentielle.

2° La résistance étalon R de l'autre branche est amenée à zéro.

3° Le système différentiel est alimenté avec une intensité de courant I juste suffisante pour réaliser l'équilibre dans le secondaire du transformateur. Le but est facilement atteint en couplant faiblement à la source de radio-fréquence quelques spires seulement.

4° On fait varier lentement la capacité C du condensateur à air étalon C jusqu'à ce qu'on remarque une déviation minimum très nette sur l'indicateur d'intensité inséré en I_2 dans le secondaire. Ceci renseigne sur la condition de l'accord des tensions dans la branche supérieure de la figure 1.

5° On augmente légèrement l'intensité I afin d'avoir une déviation plus accentuée sur l'indicateur I_2.

6° On augmente graduellement la résistance étalon R jusqu'à ce qu'on obtienne une déviation minimum encore plus marquée.

7° On augmente de nouveau l'intensité I de manière à ce qu'il

(1) Il est essentiel d'utiliser des résistances dont la valeur, à la fréquence considérée, soit connue. De petits morceaux de fil de constantan de faible calibre semblent être satisfaisants pour toute la gamme des fréquences, tant que le courant qui les traverse ne produit pas d'échauffement appréciable.

passe environ 100 milliampères dans le dispositif, c'est-à-dire 50 milliampères dans l'objet en essai lorsque l'équilibre est réalisé.

8° On règle le condensateur à air, en en frappant légèrement le manche, de manière à réaliser une syntonie très précise.

9° Enfin on règle de nouveau la résistance R jusqu'à ce qu'on lise le zéro absolu sur l'instrument I_2.

La valeur de R donne alors directement la résistance en haute

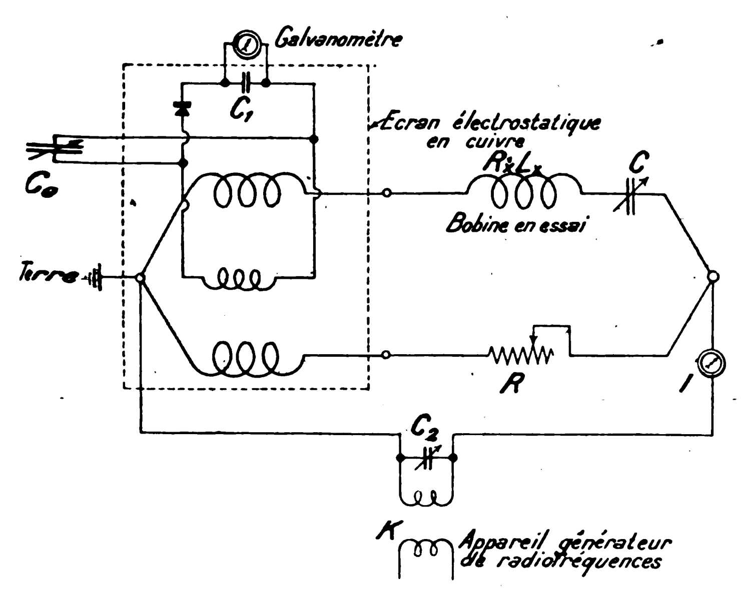


Fig. 2. — Méthode simplifiée.

fréquence R_x de l'objet à mesurer ; on calcule alors L_x au moyen de la formule 1. L'opération, calculs compris, ne doit pas exiger plus de 5 minutes (1).

Le tableau I reproduit les résultats obtenus à la suite de plusieurs essais effectués en vue de s'assurer de la précision de la méthode ; on s'est servi de deux bobines A et B, de même forme et de même inductance présumée. La bobine A consistait en un fil massif, et la bobine B était en câble à haute fréquence. Pour la gamme de fréquences considérée, B avait une résistance plus faible que A. Mais

(1) D'ordinaire, la plus grande partie de ce laps de temps très court est consacrée à régler le générateur sur la fréquence voulue.

il ne faut pas en tirer de conclusions générales, car la forme de la bobine et le procédé de bobinage influent d'une manière sensible sur les résultats des essais. Les valeurs figurant dans la colonne *b* du tableau II ont été trouvées par la méthode du transformateur équilibré, deux mois avant les valeurs portées dans la colonne *a*, et en permutant la bobine en essai et la résistance étalon dans les deux branches (fig. 1). Les valeurs de la colonne *a* expriment les résultats d'une mesure faite dans les conditions représentées sur la fig. 1. Les valeurs portées dans les deux colonnes sont en concordance presque parfaite.

Les résultats obtenus par la méthode du transformateur équilibré peuvent être considérés comme dignes de confiance, puisque l'objet soumis aux essais et l'étalon sont comparés l'un à l'autre directement et simultanément, et parce que les instruments de lecture sont montés dans le dispositif là où ils n'ont pas d'influence sur les mesures. C'est un avantage propre à la méthode différentielle.

Tableau I. Valeurs mesurées et calculées.

	Fréquence *f* (en kilocycles par seconde).	Capacité mesurée C (en farads)	Résistance mesurée R (en ohms)	Inductance L_x calculée d'après *f* et C (en henrys)
A. Fil massif	150	$1,073 \times 10^{-12}$	4,0	1.051×10^{-3}
	200	595,11	6,2	1,064
B. Cable à haute fréquence	150	1038	4,12	1,084
	200	579	4,3	1,095

Tableau II. Comparaison entre les différentes méthodes.

Fréquence *f* (en kilocycles par seconde).	Résistance R_x (en ohms) mesurée par la méthode du transformateur équilibré *a*	*b*	la méthode de la variation de la résistance (1)	Inductance L_x (en henrys) calculée d'après la méthode du transformateur équilibré *a*	*b*	la méthode de résonance (2)
150	4,00	4,00	4,1	$1,051 \times 10^{-3}$	$1,051 \times 10^{-3}$	$1,058 \times 10^{-3}$
200	6,20	6,18	6,3	1,064	1,063	1,0705

(1) Voy. Circulaire 74 du Bureau des Standards, p. 180.
(2) Un circuit ordinaire fermé, renfermant un condensateur à air C et l'objet en essais R_x L_x, est syntonisé.

Pour les mesures ordinaires, il est bon de redresser le courant dans le secondaire au moyen d'un cristal, et de se servir d'un galvanomètre portatif. Un galvanomètre dont l'aiguille, sous 1 milliampère environ, parcourt toute l'échelle graduée, convient parfaitement. Si l'on utilise un galvanomètre thermique comme instrument de lecture, il faudra que le secondaire comprenne moins de spires (tout en restant dans les limites imposées par les fréquences élevées) pour que le dispositif offre la même sensibilité. La figure 2

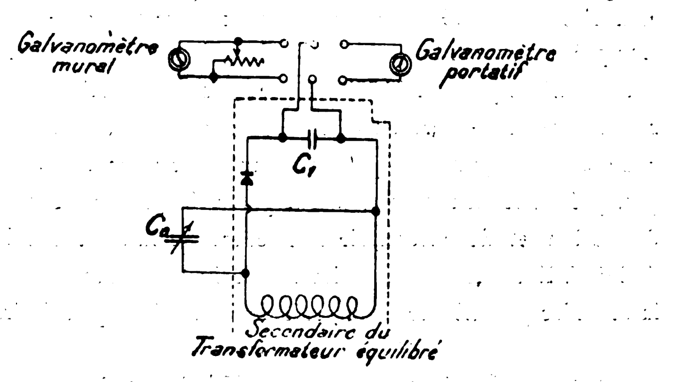


Fig. 3. — Montage dans le cas de mesures très précises.

représente le schéma du montage. Les organes placés à l'intérieur du rectangle pointillé sont protégés à l'aide de feuilles de cuivre. Cet écran électrostatique empêche certaines influences extérieures qui tendraient à déséquilibrer le transformateur et à induire des forces électromotrices parasites dans les conducteurs qui aboutissent au secondaire du transformateur. Si l'on néglige ces précautions, il est impossible d'arriver à un zéro absolu et les mesures donnent des résultats douteux. C_0 est un condensateur qui sert à accorder le secondaire du transformateur et à réaliser la syntonie ; C_1 est un condensateur fixe de grande capacité (de 0,1 à 2 microfarads suivant la fréquence employée) ; il augmente la déviation de l'aiguille du galvanomètre. On peut, dans certains cas, se passer de C_1 et de C_0. C_2 est le condensateur d'accord placé à l'entrée ; grâce à lui et au couplage *k* avec la source du courant à haute fréquence, on peut obtenir facilement un courant d'intensité déterminée. Dans tous les cas, le couplage *k* doit rester lâche, afin que le système différentiel

n'influe pas d'une manière appréciable sur la fréquence de la source électrique. On peut construire un transformateur équilibré capable de couvrir une bande très large de fréquences. Pour les fréquences très élevées correspondant aux ondes très courtes, il est préférable de recourir à un transformateur comprenant quelques spires seulement. Par exemple, un transformateur dont chaque primaire serait formé de 10 spires et dont le secondaire comprendrait 220 spires environ de 15^{cm} de diamètre couvrirait une bande de fréquences comprises entre 0,5 kilocycle et 250 kilocycles. Pour les mesures très précises, il est bon d'utiliser un galvanomètre mural outre le galvanomètre portatif (fig. 3). Pour le réglage préliminaire (réglage sommaire), on se sert de celui-ci ; puis on place sur les plots de gauche le commutateur-permutateur et l'on procède à un réglage plus précis. Il est recommandé de placer le galvanomètre mural en dérivation et de raccourcir celle-ci lorsqu'on approche du réglage définitif. Il ne faut pas supprimer la dérivation en totalité, parce que la moindre perturbation causerait des déviations peu désirables.

Erratum. — Dans notre n° 10 de 1924, à la 21e ligne de la page 1091, lire ceci : Elle n'en diffère que par la présence d'un mince ruban de permalloy enroulé autour du fil de cuivre sous l'isolant de gutta-percha.

Le Gérant,

LÉON EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

14e ANNÉE. — N° 4. AVRIL 1925. PRIX : 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE.
3 RUE THÉNARD, PARIS, Ve

Prix de l'Abonnement annuel : France.......... 36 francs. Étranger.......... 44 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

AVIS

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une Commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette Commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VIIe.

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

INFLUENCE AUDITIVE
exercée par la dérivation de plusieurs appareils téléphoniques sur la même conversation,

Par E. REYNAUD-BONIN,
Ingénieur en Chef des Postes et Télégraphes.

Nous limitons strictement la matière de cette notice à l'influence auditive, sans prétendre trancher en rien des raisons commerciales que peut avoir un abonné au téléphone pour souhaiter de mettre plusieurs appareils téléphoniques « en conférence » sur la même conversation, ni des motifs que peut avoir l'Administration pour réglementer ces conférences.

Nous considérons donc une ligne téléphonique, de préférence une ligne longue, et nous branchons, à l'une de ses extrémités, n appareils téléphoniques, dérivés l'un sur l'autre. A l'autre extrémité de la ligne, nous pouvons supposer qu'il n'y a qu'un seul appareil téléphonique. Nous avons à étudier successivement l'audition dans chacun des n appareils dérivés à la première extrémité de la ligne, et l'audition dans l'appareil placé à l'autre extrémité.

Nous exprimons la qualité de l'audition, à la façon usuelle des téléphonistes, par un coefficient α qui satisfasse à la relation :

$$e^{-2(\alpha + j\beta)} = \rho ,$$

dans laquelle ρ désigne la quantité d'énergie reçue dans l'appareil téléphonique en expérience par rapport à la quantité d'énergie qu'il recevrait s'il n'y avait pas de dérivations.

Le coefficient α est aussi désigné sous le nom d'*équivalent d'affaiblissement* introduit par les dérivations. Ces équivalents d'affaiblissement ne sont pas la cause, *a priori*, de défectuosités forcées dans l'audition ; cependant l'on peut admettre que tout équivalent d'affaiblissement supérieur à 0,5 sera fortement nui-

sible s'il se produit dans une conversation déjà tant soit peu difficile.

Méthodes de recherche des équivalents d'affaiblissement causés par les dérivations. — Nous avons employé concurremment des méthodes de calcul théorique et des méthodes de détermination expérimentale.

Dans les *déterminations expérimentales*, nous mesurons le rapport ρ au moyen d'un appareil récepteur auxiliaire, monté selon certaines règles qui permettent de faire la comparaison auditive d'égalité sonore avec le récepteur soumis à l'expérience. Nous avons le droit de supposer que le rapport ρ ainsi défini ne diffère pas notablement, pour des récepteurs téléphoniques de même type, du rapport qui était défini au paragraphe précédent. En tous cas, *les déterminations expérimentales chiffrent l'effet auditif d'une façon indiscutable.*

Les *calculs théoriques* nous ont fourni des chiffres moins complets que ceux que nous ont donnés les vérifications expérimentales. Il est assez difficile de certifier que l'on a pu introduire dans les données théoriques toutes les particularités qui existaient réellement dans les circuits d'expériences. Néanmoins, il faut toujours essayer de développer la théorie des phénomènes.

Nécessité de prendre en considération l'interposition de transformateurs dans les bureaux téléphoniques. — Toutes les longues lignes téléphoniques ne sont données aux abonnés qu'à travers les organes des bureaux téléphoniques, lesquels comportent notamment des transformateurs.

On rencontre donc successivement : la longue ligne téléphonique, le transformateur, une ligne courte entre le bureau téléphonique et le domicile de l'abonné, et enfin l'appareil de l'abonné ou les n appareils dérivés l'un sur l'autre chez l'abonné.

Les transformateurs employés sont des transformateurs dont le rapport de transformation est égal à 1. Leurs enroulements

ont 2.000 tours de fil de 32/100 de millimètre et possèdent une résistance ohmique de 46 ohms en courant continu. Ils sont destinés à relier des circuits fortement inductifs et des appareils d'utilisation (appareils téléphoniques) dans lesquels la puissance déwattée joue un rôle au moins aussi important que celui de la puissance wattée (1).

Ajoutons que, dans beaucoup de cas, leur noyau se trouve fortement magnétisé par environ 120 ampère-tours.

Désignons sous le nom d'*enroulement primaire* l'enroulement relié à la longue ligne téléphonique, et sous celui d'*enroulement secondaire* celui qui est du côté de l'abonné. L'impédance Z_t du transformateur, mesurée aux bornes du primaire, n'est pas égale à l'impédance Z_s branchée aux bornes du secondaire.

Nous avons procédé à de nombreuses expériences sur les transformateurs du modèle téléphonique, et nous avons trouvé les chiffres suivants :

Impédance Z_s branchée aux bornes du secondaire du transformateur.	Magnétisation du noyau du transformateur par courant continu auxiliaire.	Impédance apparente Z_t entre les bornes du primaire.
0	nulle	137 /30°40′
367,5 /arc tg 0,37	nulle	572 /40°54′
406,5 /arc tg 0,445	nulle	634 /34°34′
430 /arc tg 0,08	120 ampère-tours	380 /13°49′
465 /arc tg 0,085	120 ampère-tours	390 /14°51′
495 /arc tg 0,085	120 ampère-tours	421 /17°13′
509,5 /arc tg 0,04	nulle	837 /33°18′
571 /43°	nulle	665 /18°22′
571 /43°	120 ampère-tours	715 /arc tg 0,085
670 /arc tg 0,17	120 ampère-tours	550 /27°55′
1000	nulle	1.100 /5°
1041 /arc tg 0,37	nulle	1.020 /24°53′
∞	nulle	14.000 /70°19′

(1) Dans le récepteur téléphonique, la puissance déwattée a un rôle

Transformateur recevant de l'énergie par une longue ligne téléphonique. — Soit Z_0 l'impédance caractéristique de la ligne téléphonique.

Désignons par Z_s l'impédance branchée sur le secondaire du transformateur et cherchons la valeur Z_t correspondante dans le tableau précédent ou dans un tableau similaire construit sous forme d'abaque.

La quantité d'énergie reçue par le transformateur est proportionnelle à $\frac{Z_t}{(Z_0 + Z_t)^2}$ (voir la théorie de la propagation téléphonique).

La quantité d'énergie qui sera envoyée dans l'impédance Z_s dépend du fonctionnement du transformateur.

En désignant par U_0 et i_0 les tensions et courants aux bornes du primaire, U_s et i_s les tensions et courants aux bornes du secondaire et par η le rendement en énergie totale (wattée et déwattée) du transformateur, on doit avoir :

$$\left(\frac{i_s}{i_0}\right)^2 = \eta \frac{Z_t}{Z_s}, \qquad \left(\frac{U_s}{U_0}\right)^2 = \eta \frac{Z_s}{Z_t}.$$

Nous voyons bien que η s'annule pour $Z_s = 0$ et pour Z_s infini, mais nous ne sommes guère renseignés sur les valeurs ntermédiaires.

Nous pouvons néanmoins écrire que l'énergie transmise à Z_s est proportionnelle à $\frac{Z_t}{(Z_0 + Z_t)^2} \times \eta$.

Z_s peut se composer d'une résistance passive Z_p, et ensuite des n appareils téléphoniques dérivés l'un sur l'autre et présentant dans leur ensemble une impédance $Z_r = \left(\sum_1^n \frac{1}{Z_i}\right)^{-1}$.

L'énergie électrique qui arrivera dans l'appareil Z_1 sera finalement proportionnelle à $\frac{Z_t}{(Z_0 + Z_t)^2} \times \eta \times \frac{Z_r}{Z_s} \times \frac{Z_r}{Z_1}$.

fondamental pour faire varier le champ magnétique; mais la puissance wattée est nécessaire pour créer de l'amortissement. Dans la mesure où l'on peut regarder l'impédance Z_t de l'appareil comme constante, les puissances wattées et déwattées dissipées dans un récepteur téléphonique restent d'ailleurs dans un rapport constant.

Par suite, en considérant successivement l'appareil Z_1 comme branché tout seul ou branché en parallèle dans le groupe de *n* appareils, le rapport de l'énergie qu'il reçoit dans le second cas à l'énergie qu'il reçoit dans le premier est :

$$\rho = \frac{\eta \text{ initial}}{\eta \text{ final}} \times \frac{Z_t \text{ initial}}{Z_t \text{ final}} \times \frac{(Z_0 + Z_t \text{ initial})^2}{(Z_0 + Z_t \text{ final})^2} \times \frac{Z_s \text{ initial}}{Z_s \text{ final}} \times \left(\frac{Z_r}{Z_1}\right)^2;$$

et, en posant, à la façon habituelle des téléphonistes :

$$\rho = e^{-2(\alpha + j\beta)},$$

on aura, pour l'équivalent d'affaiblissement cherché, la valeur :

$$\alpha = \frac{1}{2} \log_e \underset{\text{module}}{\left(\frac{Z_1}{Z_r}\right)^2 \frac{Z_s \text{ final}}{Z_s \text{ initial}}} + \frac{1}{2} \log_e \underset{\text{module}}{\frac{(Z_0 + Z_t \text{ final})^2}{(Z_0 + Z_t \text{ initial})^2} \cdot \frac{Z_t \text{ initial}}{Z_t \text{ final}}} +$$

$$+ \frac{1}{2} \log_e \underset{\text{module}}{\frac{\eta \text{ initial}}{\eta \text{ final}}}.$$

Nous avons ainsi mis α sous la forme d'une somme de trois termes, dont le premier dépend uniquement du circuit secondaire du transformateur, le second se rattache plus particulièrement au circuit primaire, et le troisième au rendement en énergie totale du transformateur.

Seuls les deux premiers termes sont accessibles au calcul ; le troisième terme reste une inconnue pour nous.

Dans les applications numériques qui vont suivre, nous avons calculé les deux premiers termes de α, fait leur somme, et indiqué par le signe $+ \ldots\ldots$ l'absence de la valeur numérique du troisième terme. Nous avons enfin procédé à la détermination expérimentale directe de l'équivalent d'affaiblissement α, que l'on trouve dans la dernière colonne.

Applications numériques. — 1° *Montages d'appareils à batterie centrale avec une résistance morte interposée entre le transformateur et les appareils* (fig. 1). — Nous avions :

Câble téléphonique dit « câble étalon » : $Z_0 = 571\ \underline{|43^\circ}$;

quatre appareils téléphoniques à B.C.

$$\left\{\begin{array}{l} Z_1 = 356\ \underline{|17^\circ 13'} \\ Z_2 = 369\ \underline{|23^\circ 25'} \\ Z_3 = 496\ \underline{|16^\circ 58'} \\ Z_4 = 713\ \underline{|12^\circ 57'}. \end{array}\right.$$

Nous avons fait quatre écoutes successives dans l'appareil Z_1, en écoutant d'abord dans l'appareil Z_1 tout seul, puis dans Z_1 dans lequel on avait dérivé Z_2, puis dans Z_1 dans lequel on avait dérivé Z_2 et Z_3, puis dans Z_1 sur lequel on avait dérivé Z_2, Z_3 et Z_4.

On avait successivement :

$$Z_r \text{ (de } Z_1 \text{ et } Z_2) = 182\ \underline{|\text{arc tg } 0{,}37}$$
$$Z_r \text{ (de } Z_1,\ Z_2 \text{ et } Z_3) = 133{,}5\ \underline{|\text{arc tg } 0{,}36}$$
$$Z_r \text{ (de } Z_1,\ Z_2,\ Z_3 \text{ et } Z_4) = 111{,}5\ \underline{|\text{arc tg } 0{,}35}$$

et dans tous les cas, $Z_s = 320 + Z_r$.

Les valeurs de Z_s étaient égales à :

pour un seul appareil Z_1
pour 2 appareils (Z_1 et Z_2)
pour 3 appareils (Z_1, Z_2 et Z_3)
pour 4 appareils (Z_1, Z_2, Z_3 et Z_4)

$$Z_s = \left\{\begin{array}{l} 670\ \underline{|\text{arc tg } 0{,}17} \\ 495\ \underline{|\text{arc tg } 0{,}085} \\ 465\ \underline{|\text{arc tg } 0{,}085} \\ 430\ \underline{|\text{arc tg } 0{,}08}. \end{array}\right.$$

Enfin les valeurs de Z_t correspondantes à Z_s étaient :

$$Z_t = \left\{\begin{array}{l} 550\ \underline{|27^\circ 55'} \\ 421\ \underline{|17^\circ 13'} \\ 390\ \underline{|14^\circ 51'} \\ 380\ \underline{|13^\circ 49'}. \end{array}\right.$$

On remarque que les valeurs de Z_t sont beaucoup plus petites que celles de Z_s, probablement parce que le noyau du transformateur était fortement magnétisé par 120 ampère-tours existant réellement dans les bureaux téléphoniques à batterie centrale.

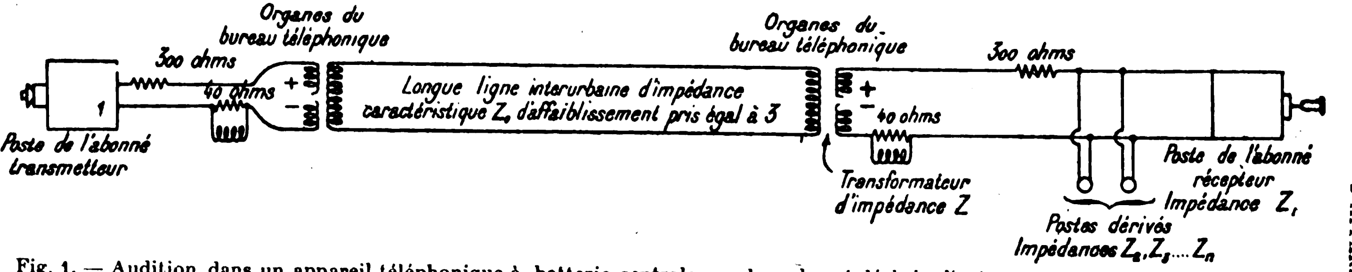


Fig. 1. — Audition dans un appareil téléphonique à batterie centrale sur lequel sont dérivés d'autres appareils à batterie centrale.

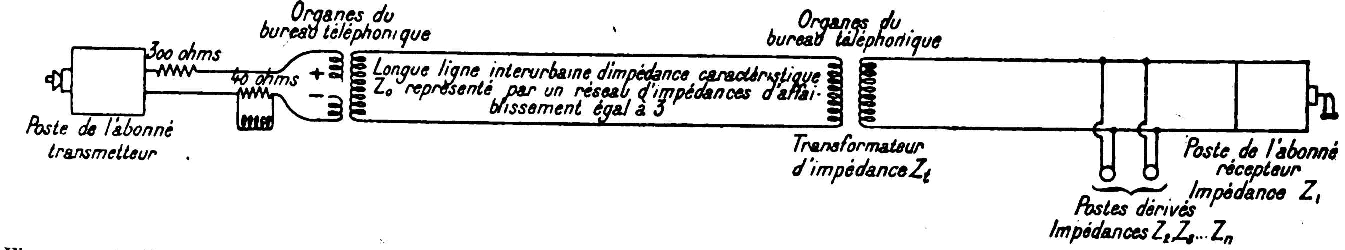


Fig. 2. — Audition dans un appareil téléphonique à batterie local monté près du bureau téléphonique et sur lequel sont dérivés d'autres appareils à batterie locale.

On a alors le tableau suivant :

Nombre d'appareils dérivés.	Valeur de α par le calcul.				Valeur de α par la mesure directe.
	terme en Z_r et Z_s	terme en Z_o et Z_t	terme en η	$\alpha =$	$\alpha =$
Z_2 dérivé sur Z_1	0,525	0,08	?	0,605 + ...	0,58
Z_2 et Z_3 dérivés sur Z_1	0,795	0,24	?	1,035 + ...	1,34
Z_2, Z_3 et Z_4 dérivés sur Z_1	0,905	0,264	?	1,169 + ...	1,66

2° *Montage d'appareils à batterie locale sur un transformateur sans résistance morte intercalée entre le transformateur et les appareils* (fig. 2). — Soit toujours :

$Z_o = 571 \,|43°$ câble téléphonique dit « câble étalon », et soient les quatre appareils :

quatre appareils téléphoniques à B.L.

$$Z_1 = 1041 \left| \text{arc tg} \frac{360}{975} \right.$$
$$Z_2 = 1002 \left| \text{arc tg} \frac{382}{926} \right.$$
$$Z_3 = 1989 \left| \text{arc tg} \frac{1000}{1682} \right.$$
$$Z_4 = 2780 \left| \text{arc tg} \frac{2530}{1154} \right.$$

impédances mesurées lorsque le circuit microphonique de chaque appareil est en débit.

Les valeurs de Z_r sont ici :

Z_r pour Z_1 tout seul $= Z_1$ $= 1041 \left| \text{arc tg} \frac{360}{975} \right.$

Z_r pour Z_1 et Z_2 en parallèle $= 509 \,|\text{arc tg } 0,4$

Z_r pour Z_1, Z_2 et Z_3 $= 406,5 \,|\text{arc tg } 0,445$

Z_r pour Z_1, Z_2, Z_3 et Z_4 en parallèle $= 367,5 \,|\text{arc tg } 0,55$.

Les valeurs de Z_s sont ici égales à Z_r.

Enfin les valeurs de Z_t correspondantes aux valeurs de Z_r étaient :

$$Z_t \begin{cases} 1020 \ |\underline{24^\circ 53'} \\ 837 \ |\underline{33^\circ 18'} \\ 634 \ |\underline{34^\circ 34'} \\ 572 \ |\underline{40^\circ 54'}. \end{cases}$$

On a eu les résultats suivants :

Nombre d'appareils dérivés.	Valeur de α par le calcul.				Valeur de α par la mesure directe.
	terme en Z_r	terme en Z_0 et Z_t	terme en η	$\alpha =$	$\alpha =$
Z_2 dérivé sur Z_1	0,36	— 0,13	?	0,25 + ...	0,93
Z_2 et Z_3 dérivés sur Z_1	0,47	— 0,12	?	0,35 + ...	0,97
Z_2, Z_3 et Z_4 dérivés sur Z_1	0,52	— 0,17	?	0,33 + ...	0,98

Transformateur envoyant de l'énergie sur une longue ligne téléphonique. — Nous considérons maintenant un microphone envoyant de l'énergie sur une longue ligne téléphonique d'impédance caractéristique Z_0 à travers un transformateur placé à l'entrée de cette ligne. On écoute le microphone à l'autre extrémité de la longue ligne.

Nous avons en vue d'étudier l'influence exercée par l'introduction de plusieurs appareils dérivés sur le microphone transmetteur.

Soit W_m la quantité d'énergie électrique fournie par l'appareil transmetteur. Cette quantité d'énergie dépend de l'impédance Z_r branchée aux bornes de cet appareil. La loi de dépendance nous est inconnue ; il y a des cas ou W_m doit rester à peu près constant ; il y en a d'autres où W_m subit des variations considérables, notamment lorsque la valeur du courant microphonique alimentaire de l'appareil transmetteur dépend de l'impédance

Z_r branchée sur cet appareil (cas des appareils téléphoniques alimentés par la batterie d'accumulateurs du bureau central).

Soient des appareils téléphoniques d'impédances Z_1, $Z_2 \ldots$, Z_n, branchés en dérivation sur l'appareil transmetteur, et soit enfin une ligne courte d'impédance Z_m placée entre les postes dérivés et le transformateur du bureau téléphonique. (On retrouve les dispositions des figures 1 et 2, lues de droite à gauche au lieu d'être lues de gauche à droite).

Désignons toujours par Z_t l'impédance du transformateur, supposé fermé au secondaire sur une impédance Z_0.

Soit aussi : $Z_p = Z_m + Z_t$.

Soit enfin Z_r l'impédance résultante de Z_p et des appareils dérivés aux bornes de l'appareil transmetteur.

L'énergie arrivant au transformateur est égale à $W_m \frac{Z_r}{Z_p}$; et, si le rapport des énergies à la sortie et à l'entrée de celui-ci est égal à η, l'énergie transmise sur la ligne Z_0 est égale à $W_m \frac{Z_r}{Z_p} \eta$.

Selon que l'appareil transmetteur sera associé à des appareils dérivés ou bien sera tout seul, le rapport des quantités d'énergie envoyées sur la ligne téléphonique sera :

$$\rho = \frac{W_m \text{ final}}{W_m \text{ initial}} \times \frac{Z_r \text{ final}}{Z_p} \times \frac{\eta \text{ final}}{\eta \text{ initial}}.$$

Et, en posant comme plus haut :

$$\rho = e^{-2(\alpha + j\beta)},$$

on aura : $$\alpha = \frac{1}{2} \log_e \frac{W_m \text{ initial}}{W_m \text{ final}} + \frac{1}{2} \log_e \frac{Z_p}{Z_r} + \frac{1}{2} \log_e \frac{\eta \text{ initial}}{\eta \text{ final}}.$$

L'équivalent d'affaiblissement α se compose toujours de trois termes : l'un caractérise les variations de rendement du microphone, *variations qui peuvent être considérables pour les appareils à batterie centrale*; le second dépend des postes dérivés, de la ligne entre le groupe de ces postes et le bureau téléphonique, et de l'impédance apparente de la grande ligne interur-

baine vue à travers le transformateur ; le troisième terme, enfin, dépend du rapport des énergies à la sortie et à l'entrée du transformateur, lequel nous est inconnu.

Applications numériques. — 1° *Transmission par des postes à batterie locale* (figure 2 suivie dans le sens de droite à gauche). — En branchant une longue ligne interurbaine, d'affaiblissement caractéristique $Z_0 = 571 \,|\overline{43^\circ}$, sur le secondaire d'un transformateur téléphonique à noyau non magnétisé, on trouve $Z_t = 665 \,|\overline{18^\circ 22'}$. Dans le cas de la figure 2, on avait : $Z_p = Z_t$.

Les appareils à batterie locale Z_2, Z_3 et Z_4 que nous avons mis en dérivation sur l'appareil transmetteur avaient les impédances :

$$\begin{cases} Z_2 = 1002 \,|\underline{\text{arc tg} \dfrac{360}{975}} \\ Z_3 = 1989 \,|\underline{\text{arc tg} \dfrac{1000}{1682}} \\ Z_4 = 2780 \,|\underline{\text{arc tg} \dfrac{2530}{1154}} \,. \end{cases}$$

On a trouvé :

$$\begin{cases} Z_r \text{ (pour } Z_2 \text{ en parallèle avec } Z_p) = 424 \,|\overline{\text{arc tg } 0{,}05} \\ Z_r \text{ (— } Z_2 \text{ et } Z_3 \text{ —)} = 356 \,|\underline{\text{arc tg } 0{,}07} \\ Z_r \text{ (— } Z_2, Z_3 \text{ et } Z_4 \text{ —)} = 336 \,|\underline{\text{arc tg } 0{,}18.} \end{cases}$$

Les valeurs de l'équivalent d'affaiblissement α sont données dans le tableau ci-dessous :

Nombre de postes dérivés.	Valeurs de α par le calcul.				Valeurs de α par la mesure directe.
	terme en W_m	terme en Z_p et Z_r	terme en η	$\alpha =$	$\alpha =$
Z_2 dérivé sur Z_1..........	inconnu	0,23	inconnu	0,23 + ...	0,45
Z_2 et Z_3 dérivés sur Z_1...	inconnu	0,32	inconnu	0,32 + ...	0,5
Z_2, Z_3 et Z_4 dérivés sur Z_1.	inconnu	0,39	inconnu	0,39 + ...	0,51

2° *Transmission par des postes à batterie centrale* (figure 1 suivie dans le sens de droite à gauche). — En branchant toujours une longue ligne interurbaine, d'affaiblissement caractéristique $Z_0 = 571 \,|\overline{43°}$, sur le secondaire d'un transformateur téléphonique, mais en magnétisant cette fois le noyau de ce transformateur par 120 ampère-tours, on trouve :

$$Z_t = 715 \,|\overline{\text{arc tg } 0{,}085.}$$

Dans le cas de la figure 1, on a :

$$Z_p = 320 + Z_t = 1035 \,|\overline{\text{arc tg } 0{,}065.}$$

Les appareils à batterie centrale Z_2, Z_3 et Z_4 que nous avons mis en dérivation sur l'appareil transmetteur avaient les impédances :

$$\begin{cases} Z_2 = 369 \,|\underline{23°\,25'} \\ Z_3 = 496 \,|\underline{16°\,58'} \\ Z_4 = 713 \,|\underline{12°\,57'.} \end{cases}$$

On a trouvé :

$$\begin{cases} Z_r \text{ (pour } Z_2 \text{ en parallèle avec } Z_p) = 274 \,|\underline{\text{arc tg } 0{,}34} \\ Z_r \text{ (pour } Z_2 \text{ et } Z_3 \quad — \quad —) = 176 \,|\underline{\text{arc tg } 0{,}33} \\ Z_r \text{ (pour } Z_2, Z_3 \text{ et } Z_4) = 142 \,|\underline{\text{arc tg } 0{,}31} \end{cases}$$

Les valeurs de l'équivalent d'affaiblissement α sont données dans le tableau ci-dessous :

Nombre d'appareils dérivés.	Valeurs de α par le calcul.				Valeurs de α par mesure directe. $\alpha =$
	terme en W_m	terme en Z_p et Z_r	terme en η	$\alpha =$	
Z_2 dérivé sur Z_1......	inconnu	0,67	inconnu	.....?	0,8
Z_2 et Z_3 dérivés sur Z_1.	mais TRÈS	0,88	inconnu	.....?	2,3
Z_2, Z_3 et Z_4 dérivés sur Z_1	IMPORTANT	0,99	inconnu	.....?	2,72

Dans ce dernier tableau, nous avons renoncé à écrire la valeur calculée de α parce que *le terme inconnu en W_m prend certaine-*

ment une énorme importance. Le courant alimentaire du microphone Z_1 a baissé de $0^A,055$ à $0^A,045$, puis à $0^A,036$, puis à $0^A,0272$. Les courants alimentaires deviennent si faibles, que les dérivations produisent des affaiblissements formidables sur l'audition au poste récepteur. Les mesures directes de α, qui ont donné dans certains cas $\alpha = 2,72$, en sont la preuve incontestable.

LA FABRICATION DES TIMBRES-POSTE SUR PRESSES ROTATIVES,

PAR L. DEMOULIN,
Sous-directeur des Postes et Télégraphes,
Chef de l'atelier de fabrication des timbres-poste.

Premiers essais. — Dans son étude si documentée sur le timbre-poste en France, parue ici même (juin 1911), M. Raulin, inspecteur des Postes et Télégraphes, alors chef de la fabrication des timbres-poste, après avoir décrit l'outillage de l'atelier du boulevard Brune, prévoyait qu'en raison des problèmes nouveaux qui se posaient déjà et de la complication des méthodes employées il serait nécessaire, dans un avenir plus ou moins lointain, de recourir à des procédés de fabrication plus simples.

Les prévisions de mon prédecesseur étaient justes, car dès 1912, à la suite d'études et de recherches faites par M. Pomey, ingénieur en chef, alors adjoint au directeur des ateliers, on s'était mis en rapport avec M. Chambon, industriel à Paris, qui est l'inventeur de différentes machines d'une ingéniosité remarquable, et qui construisait depuis longtemps des machines spéciales pouvant répondre au but poursuivi. Avec ces presses, on imprimait déjà, sur du papier gommé, des timbres-primes employés par certaines maisons de commerce. Le cliché servant à l'impression était un cylindre d'acier gravé.

Avec l'autorisation de l'administration, M. Chambon avait fourni à un industriel de Lyon, spécialiste de gravure, un cylindre d'acier sur lequel devaient être gravés des timbres-poste du type Semeuse à fond plat. Ce premier cylindre, puis un deuxième, ne donnèrent pas satisfaction, en ce sens que les vignettes obtenues n'étaient pas absolument identiques au type. Un troisième essai de gravure allait être entrepris, quand la guerre survint.

A la fin des hostilités, les pourparlers furent repris avec le graveur, qui se disait maître de son procédé et garantissait la reproduction fidèle du type d'une figurine quelconque. Par contre, il demandait des prix très élevés pour la gravure et des délais fort longs pour la livraison des cylindres. Cette fabrication présentait de plus le grave inconvénient d'être exécutée à l'extérieur et par conséquent difficilement contrôlable.

Il est vrai que le graveur aurait consenti à céder à l'administration, pour une somme importante, l'outillage nécessaire à la gravure des cylindres, et à mettre à notre disposition, moyennant rétribution, quelques spécialistes pour la formation de notre personnel. Or, d'après le graveur, plusieurs années de pratique devaient être nécessaires pour former des spécialistes capables de fournir un travail correct.

On voit donc que la fabrication seule des cylindres gravés employés jusqu'alors sur les machines Chambon présentait de telles difficultés que l'on pouvait craindre d'être obligé de renoncer à leur emploi.

Or l'ensemble de l'outillage de l'atelier, qui était en service depuis de nombreuses années, se fatiguait de plus en plus malgré des réparations judicieuses. C'est ainsi que la moitié des machines à imprimer, gommer et perforer avaient au moins trente ans de fonctionnement et que les plus modernes dataient d'une dizaine d'années. Le moment était donc proche où il faudrait penser au renouvellement des machines. La question se serait alors posée de décider si ce matériel serait remplacé par des machines similaires ou par un outillage plus moderne. D'autre part, l'importance toujours croissante des travaux demandés à l'atelier exigeait à bref délai, et d'une façon impérieuse, la simplification des méthodes et la rapidité d'exécution.

Les clichés galvanoplastiques cylindriques. — Devant cette situation, et tenant compte de l'intérêt sérieux que présenterait pour l'administration l'emploi de rotatives Chambon, j'ai pensé qu'il serait peut-être possible d'obtenir des résultats très satisfaisants si, pour remplacer le cylindre d'acier gravé, on réussis-

sait à confectionner, dans notre atelier même, des clichés galvanoplastiques d'une courbure parfaite, sans facettes, et ne présentant aucune déformation.

Le problème était complexe, car il y avait pour réussir toute une série de difficultés à vaincre. A ce sujet, je veux dire tout d'abord que, dans les recherches entreprises avec quelques dévoués collaborateurs, nous avons été très vivement encouragés par M. Pomey, alors directeur des ateliers, qui nous a largement fait profiter de son expérience et de sa connaissance approfondie des arts graphiques. Toutefois, il ne paraît pas désirable de publier la nature de ces difficultés et encore moins les solutions qui y furent successivement apportées. Il s'agit, en effet de procédés qui doivent rester la propriété de la « maison ». J'indiquerai seulement que les recherches furent longues et laborieuses, les essais multiples et parfois décevants. Il fallut créer dès le début, avec nos propres moyens, un outillage de fortune, qui dut être abandonné ou amélioré au fur et à mesure des recherches. Enfin on toucha au but en ce qui concerne la fabrication proprement dite des clichés galvanoplastiques, rigoureusement semblables à des clichés cylindriques en acier quant à leur correction, et exactement conformes au type.

La mise en train. — Cependant, d'autres difficultés nous attendaient, à l'essai sur une machine. Les clichés ainsi constitués ne nous donnèrent pas d'abord toute la qualité d'impression désirable, non parce qu'ils étaient de nature galvanoplastique, mais parce que le cylindre de contre-partie sur lequel s'exerce la pression et qui est, sur les presses Chambon, ordinairement garni de cuir ou de caoutchouc, ne permettait pas d'obtenir toutes les finesses de la gravure d'un timbre-poste. On peut, par ce système, fabriquer des vignettes grossières, suffisantes pour certains usages du commerce, mais non des figurines postales qui, au surplus, ont un tirage considérable. Il fallut alors essayer l'application aux rotatives Chambon du procédé dit de *mise en train*, qui est la base de toutes les impressions typographiques et dont il convient de dire quelques mots.

On sait qu'en typographie il suffit, en principe, de disposer le cliché sur un marbre plan, d'encrer convenablement les reliefs de la gravure, et de recouvrir celle-ci d'une feuille de papier sur laquelle on exerce une pression suffisante pour obtenir le décalque. Ce décalque ou impression sera parfait si le cliché est lui-même rigoureusement plan et si les détails de la gravure ont absolument la même valeur : s'ils sont formés, par exemple, de traits semblables. Mais il n'en sera pas de même si ces détails comportent des traits de valeurs différentes, avec des mats et des demi-teintes, comme c'est le cas dans les vignettes de timbres-poste. L'impression sera alors uniforme, plate, c'est-à-dire médiocre ; les mats seront mal couverts, en un mot le sujet ne sera pas mis en valeur. Pour obvier à cet inconvénient, on commence par coller sous le cliché, s'il n'est pas plan, différentes épaisseurs de papier, des *béquets*, aux endroits appropriés ; on constate, par le tirage d'épreuves successives, que la planimétrie est obtenue. Sur la dernière de ces épreuves, on découpe, dans chacune des vignettes, les parties qui doivent rester légèrement teintées ; il ne subsiste donc, dans la feuille ajourée, que les parties devant être accentuées. Chaque vignette ainsi découpée est collée isolément sur le cylindre de pression à l'endroit même où celui-ci viendra en contact avec la vignette correspondante du cliché. L'ensemble de ces découpages est recouvert d'une étoffe de satin. On comprend que, la machine étant mise en route, la pression sera plus forte aux parties ayant reçu un découpage formant surépaisseur, et plus faible aux endroits des parties ajourées. Par cet artifice on aura mis en valeur les mats de la figurine, tout en respectant la délicatesse des grisés et des demi-teintes.

Les premiers essais avaient donc démontré que, sur la rotative Chambon, le caoutchouc ou le cuir garnissant le cylindre de pression ne pouvait remplacer la mise en train et l'habillage généralement très sec employé sur les presses ordinaires. Mais nous n'étions pas en présence d'une presse ordinaire imprimant avec des clichés plats, où la mise en train est facilitée par la disposition du cylindre et la nature des travaux qui y sont exé-

cutés, toujours à la feuille; et pas non plus devant une presse rotative ordinaire, où le cylindre de pression comporte une où deux gorges dans lesquelles sont logées les tringles servant à tendre les étoffes d'habillage, et où par conséquent la pression n'est pas continue. Nous avions à tirer parti d'une presse rotative sur laquelle on devait imprimer des timbres en feuilles et des timbres en bande continue pour la fabrication de roulettes pour distributeurs automatiques et machines à affranchir. Dans le premier cas, la marge dont on disposait entre chaque feuille n'avait que la hauteur d'un timbre, soit 22 millimètres; et dans le second, on n'avait que l'espace où est logée la perforation séparant deux figurines; la pression devait donc être absolument continue. Il fallait alors placer dans des espaces aussi réduits, les tringles de tension de l'habillage du cylindre, ainsi que le passage des étoffes et des feuilles constituant la mise en train.

On a obtenu ce résultat en imaginant un cylindre de pression séparable longitudinalement en deux parties. Avec des cylindres ainsi constitués, il a été possible d'effectuer, selon les règles de l'art, des mises en train aussi soignées et aussi solides que celles qu'on établit sur les presses rotatives ordinaires. Il s'ensuit que la qualité des impressions ainsi obtenues n'est pas inférieure à celle des autres machines. D'ailleurs, il n'est peut-être pas inutile de signaler que tous les techniciens qui ont eu l'occasion de voir fonctionner nos presses Chambon ont été frappés de l'ingéniosité avec laquelle a été résolue la question des mises en train sur ces rotatives.

Il apparaît donc, par ce qui vient d'être dit et aussi par d'autres particularités que je serai appelé à signaler au cours de cet exposé, qu'il n'a pas suffi de prendre chez le constructeur des machines déterminées et de les installer à l'atelier pour être utilisées immédiatement à la fabrication des timbres-poste. Quoi qu'il en soit, après de nombreux essais effectués sur une première machine d'expérience, l'administration, au cours de l'année 1924, a doté l'atelier de cinq autres presses du même système.

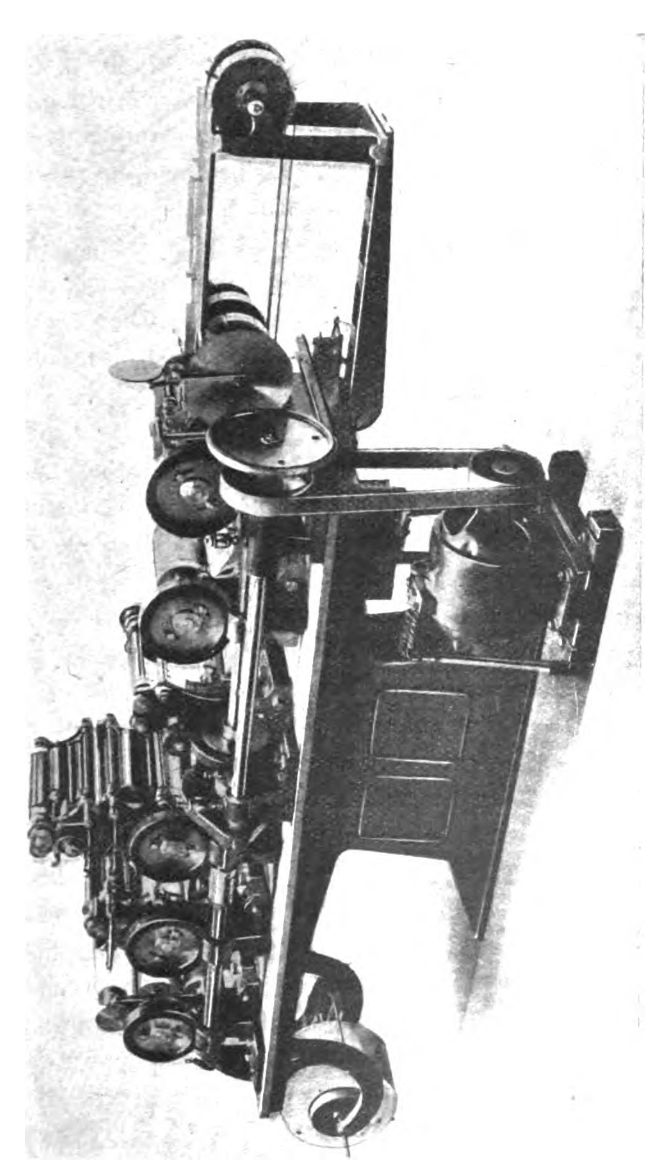


Fig. 1. — Presse rotative Chambon pour l'impression en feuilles.

Le fonctionnement des presses rotatives. — Le visiteur qui, après avoir examiné les imposantes et bruyantes machines employées jusqu'ici à l'impression des timbres-poste, est mis en présence des rotatives Chambon, est tout d'abord frappé par les dimensions réduites et la marche silencieuse de ces dernières. Et cependant elles ne font pas que d'imprimer des figurines comme leurs encombrantes voisines : employant du papier gommé en bobines, elles impriment la bande qui se déroule, la datent, la numérotent, la perforent, la découpent en feuilles de cent timbres qui sont rangées automatiquement par paquets de cent ; ou bien encore, la bande, ainsi travaillée, s'enroule pour former des bobines qui seront débitées ultérieurement en roulettes pour distributeurs automatiques.

Ainsi que l'on peut s'en rendre compte sur la figure 1, la bande de la bobine de papier qui est montée sur un axe est entraînée par un dispositif de cylindres ; elle s'engage ensuite dans un premier groupe d'impression ; puis dans un deuxième, car nos machines peuvent imprimer en deux couleurs : elle passe après entre les mâchoires de l'appareil de perforage, puis entre deux cylindres d'appel, et enfin elle se présente sous un couteau qui la découpe en feuilles tombant dans une sorte de panier métallique, avançant automatiquement à chaque centaine.

Le premier groupe d'impression est composé de deux cylindres, dont l'un porte les clichés maintenus avec des vis, et l'autre, constitué comme il a déjà été dit, porte la mise en train.

Le cylindre porte-clichés est monté sur un arbre fixe, tandis que celui de mise en train est monté sur un arbre mobile, ce qui permet de régler la pression à l'aide de deux vis à boutons moletés. Le cylindre porte-clichés, dont le développement donne deux feuilles, porte deux numéroteurs et deux dateurs. Ces numéroteurs, commandés par des pignons montés sur l'arbre fixe du cylindre porte-clichés, ne peuvent se dérégler ni être actionnés frauduleusement. Les deux cylindres, qui sont superposés, sont surmontés de l'appareil d'encrage, constitué, comme dans les presses ordinaires, par un réservoir d'encre, des tables

cylindriques, et des rouleaux, preneurs, distributeurs et toucheurs, qui assurent une bonne distribution de l'encre.

Le deuxième groupe d'impression est constitué comme le premier, mais il ne comporte ni dateurs ni numéroteurs.

L'appareil de perforage, qui est d'un fonctionnement très délicat, est aussi l'une des parties les plus remarquables de la machine. En effet, la bande étant animée d'un mouvement régulier et continu, le perforage doit avoir lieu sans arrêt du papier, sinon il y aurait rupture de la bande. Pour résoudre la difficulté, M. Chambon a imaginé un mouvement d'excentriques qui permet à l'appareil d'accompagner la bande pendant la durée de la pénétration des poinçons dans la matrice. L'appareil de perforage est constitué par un socle sur lequel était fixée, à l'origine, une plaque matrice percée d'autant de trous qu'il y a de poinçons perforateurs. Sur deux tiges, solidaires des excentriques coulissant dans deux douilles fixées dans le socle, est monté un *mouton* qui, au début, portait à sa partie inférieure une plaque supportant les poinçons et une plaque pour les guider.

L'expérience montra que l'appareil de perforage, tel qu'il avait été livré sur notre première presse, n'avait pas la robustesse nécessaire pour résister au grand effort qui lui est demandé, et dont on aura une idée si l'on sait qu'il effectue en moyenne 540 pénétrations à la minute et qu'il fonctionne sans arrêt. D'autre part, le montage du jeu sur l'appareil et son enlèvement présentaient des difficultés, ce qui était un inconvénient, car le jeu doit être fréquemment nettoyé et vérifié. Au surplus, les poinçons étaient rapidement hors d'usage, parce que la pénétration n'était pas réglable et que seule l'extrémité des aiguilles pouvait être utilisée.

Pour remédier à ces inconvénients, on fit renforcer le sommier de l'appareil, et l'on imagina à l'atelier un jeu indépendant, constitué d'une façon beaucoup plus robuste et dans lequel la pénétration des poinçons fut rendue réglable. On peut ainsi les employer sur une longueur de 5 millimètres au lieu d'un millimètre. Ce jeu a de plus l'avantage de pouvoir être remplacé sans causer d'arrêts prolongés de la presse.

La rotative est munie de deux compteurs de tours, montés l'un sur l'axe d'un des appareils d'impression, l'autre sur celui d'un des cylindres d'appel. Ces organes permettent de contrôler automatiquement les indications des numéroteurs.

La presse est munie également d'un débrayage automatique, qui arrête instantanément la machine dans le cas d'une rupture accidentelle de la bande avant l'impression. Ce dispositif évite les tours dans le vide, qui seraient enregistrés aux compteurs sans production équivalente de feuilles.

Enfin l'expérience nous a amenés à imaginer un petit appareil répondant à un besoin particulier. Les bobines de papier ne pouvant être constituées par une bande continue, elles comportent de nombreux collages formant surépaisseur, qui donnent naturellement à l'impression des feuilles défectueuses. Pour éviter que le passage de ces raccords n'échappe à l'examen de l'ouvrier, on a monté sur le cylindre entraîneur un dispositif très sensible qui, au passage de la moindre surépaisseur de papier, se met en mouvement et actionne une sonnerie, appelant l'attention du desservant.

La figure 2 représente une presse Chambon, équipée pour l'impression des timbres-poste en bobines. Elle est semblable au type que l'on vient d'examiner, mais l'appareil de coupe des feuilles est remplacé par un dispositif de rebobinage. Le constructeur avait prévu un enroulement immédiat de la bande ; mais l'usage montra que cette solution ne pouvait être adoptée. En effet, l'encre de la bande fraichement imprimée se déposait sur la partie gommée de la spire voisine ; au déroulement, on constatait un maculage au verso et une altération de l'impression des figurines. Pour obvier à ces inconvénients, on a retardé l'enroulement de la bande en allongeant son parcours, qui est maintenant de 18 mètres, et en la faisant passer dans une caisse fermée, chauffée par des résistances électriques et munie d'autre part d'un ventilateur brassant l'air ambiant. On a obtenu ainsi des résultats très satisfaisants, mais la mise au point du dispositif a donné lieu aussi à bien des tâtonnements, si l'on considère notamment que le chauffage avait tout d'abord été prévu au gaz.

Les grosses bobines ainsi confectionnées sont ensuite débitées, par une machine spéciale (fig. 3), en petites roulettes contenant 600 ou 1.200 figurines, et destinées à être employées sur les distributeurs automatiques et les machines à affranchir.

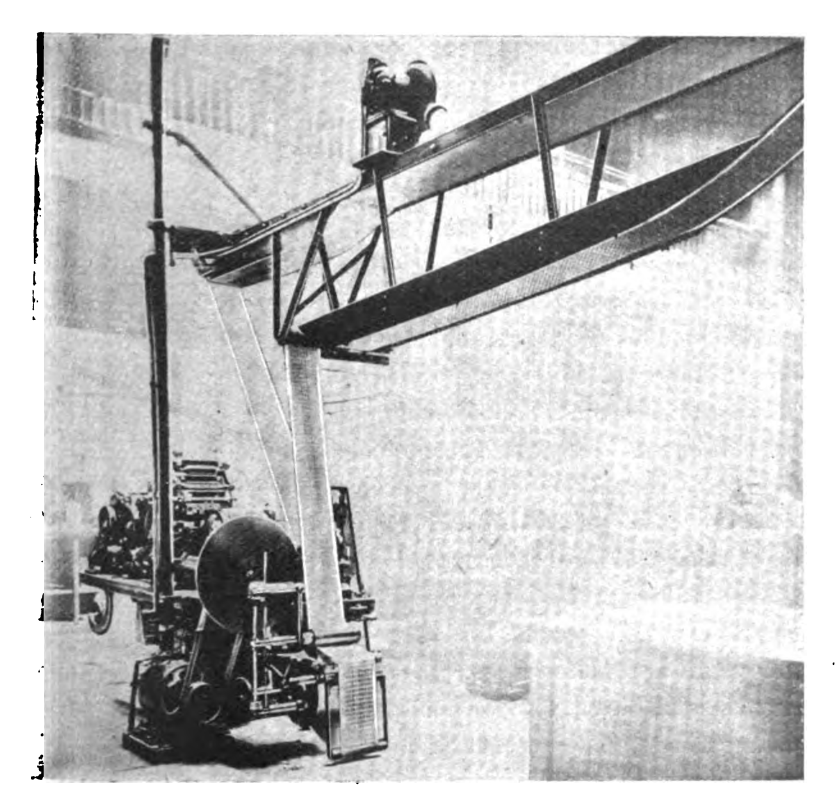


Fig. 2. — Presse rotative Chambon pour l'impression en bobines.

La grosse bobine est montée sur un axe ; la bande, qui comporte dix timbres, dans le sens de la largeur, se déroule, passe entre des cylindres d'entraînement actionnés par un petit moteur d'un demi-cheval, puis sous des cisailles circulaires qui découpent la bande dans le perforage longitudinal. Les dix bandes ainsi isolées s'enroulent sur autant de petits tambours à friction.

La marge de la bande de dix timbres, qui s'enroule aussi sur un onzième tambour, a été numérotée au moment de l'im-

pression, comme il a été dit pour la fabrication en feuilles, c'est-à-dire qu'elle porte un numéro tous les 100 timbres. L'ouvrière desservant la machine prend note du numéro de départ et calcule, par une simple addition, le numéro qui doit clore les roulettes ; elle surveille le passage de celui-ci et arrête au moment voulu. Les dix roulettes sont alors enlevées, et les dix bandes rompues sont fixées sur un noyau de carton monté sur les tambours. La machine est remise en marche ; dix nouvelles roulettes se constituent, et ainsi de suite.

Les économies réalisées. — L'emploi de l'outillage que nous venons d'examiner a apporté un véritable bouleversement dans les méthodes suivies jusqu'alors et a réduit dans de notables proportions les frais d'exploitation. On le comprend aisément si l'on connaît la complication des procédés employés pour la fabrication des timbres-poste en feuilles, procédés qu'il convient par conséquent d'exposer succinctement.

Le papier est acquis par le service de l'agence comptable des timbres-poste, qui, avant sa remise à l'atelier, le compte et le poinçonne, c'est-à-dire frappe chaque feuille d'une marque de contrôle obtenue à l'emporte-pièce. Ces feuilles sont ensuite comptées par le service de l'atelier, qui les prend en charge. Elles sont alors imprimées, puis comptées avant leur rangement en magasin, où elles séjournent une dizaine de jours au moins pour permettre à l'encre de sécher. Elles sont ensuite gommées puis comptées, et rentrées en magasin où un nouveau repos de dix jours au minimum est également nécessaire. Enfin, elles sont perforées, vérifiées, et comptées avant leur livraison à l'agence comptable, qui les reconnaît en les comptant. La multiplicité de ces comptages s'explique par la nécessité d'exercer un contrôle constant, car il s'agit de valeurs fiduciaires.

Dans la fabrication sur rotatives, c'est toujours l'agence comptable qui remet à l'atelier le papier ; mais, cette fois, il est en bobines et gommé. La bobine est placée sur la presse en présence d'un représentant de l'agence comptable, et débitée en feuilles imprimées, perforées, numérotées et comptées comme il

il a été dit. C'est donc la machine qui, munie de ses numéroteurs et compteurs, assure automatiquemént le contrôle de la fabrication, étant entendu que les presses sont toujours mises en route en présence d'un représentant de l'agence et, en fin de travail, cadenassées par chacun des deux services.

Les feuilles, qui ont été comptées par la machine en paquets

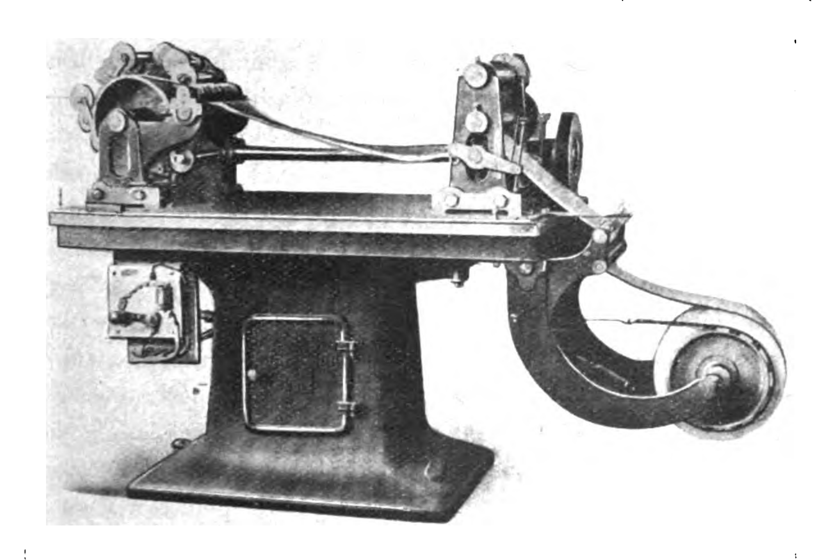


Fig. 3. — Machine à débiter en roulettes les bobines de timbres.

de cent, sont enliassées par mille et livrées à l'agence comptable, qui les prend en charge après comptage. La révision des feuilles a eu lieu sur la machine même par l'un des ouvriers qui la dessert et remplace, au fur et à mesure de leur sortie, les feuilles à rebuter.

On conçoit quelles simplifications ont été apportées aux méthodes, puisqu'une seule machine, desservie par un conducteur et son aide, assure les différentes opérations exigeant autrefois des machines coûteuses et encombrantes et un nombreux personnel. Ces-simplifications se traduisent d'ailleurs par les avantages suivants :

1° Chaque presse en service permet la suppression de dix emplois d'ouvriers et d'ouvrières de différentes catégories. C'est ainsi que l'achat de six rotatives a déjà permis la suppression, par extinction, de 50 unités. Aussi l'économie de personnel seule a pour conséquence d'amortir presque entièrement le prix de la machine au cours de la première année de sa mise en service.

2° La fabrication des timbres-poste par le passage d'une bande sur une seule machine a permis de réduire la surface non imprimée existant obligatoirement dans la fabrication en feuilles. De ce fait, chaque presse permet d'économiser annuellement l'équivalent de 500 rames de papier en feuilles, dont le prix n'est actuellement pas inférieur à 20 francs la rame.

3° Le nombre des feuilles rebutées sur rotatives Chambon est d'environ 1 °/o, alors que, dans la fabrication en feuilles, il varie de 5 à 7 °/o, ce qui représente une diminution de 5 °/o en moyenne. Cette réduction est d'autant plus appréciable que, dans le procédé en feuilles, les fautées proviennent surtout de la dernière opération, qui est le perforage, et représentent non seulement une perte de papier, mais aussi une perte d'encre, de gomme, et de la main-d'œuvre qui a été employée à les imprimer et à les gommer. On comprend toute l'importance de l'économie dont l'administration bénéficiera lorsqu'elle pourra assurer sur presses rotatives la fabrication totale de ses timbres, qui porte actuellement sur plus de trois milliards par an.

4° Une presse Chambon est actionnée par un moteur d'un cheval et demi. Or elle effectue toutes les opérations qui, dans dans l'ancien système, sont assurées par différentes machines demandant une force totale de $7^{HP},3$. Il y a donc là une importante diminution de la force motrice, qui n'est pas négligeable si l'on tient compte du prix du courant.

5° La surface occupée par une presse Chambon n'est que de $3^{mq},024$, alors que la surface totale des machines dont elle tient lieu dépasse 20^{mq}. Cette particularité est plus importante qu'on ne le pourrait supposer, car, étant donné l'accroissement de nos travaux, il eût fallu, dans un avenir très proche, agrandir l'atelier pour le doter de machines des systèmes employés jusqu'ici et alors devenues indispensables.

6° Ainsi qu'on l'a vu, toutes les impressions typographiques sont précédées d'un travail préparatoire dit de mise en train, qui, pour nos vignettes, dure de 4 à 8 jours suivant les types et le nombre des figurines à imprimer sur une même feuille. Pendant toute la durée de ce travail, la machine est obligatoirement arrêtée et n'assure donc aucune production. Avec les presses Chambon, il suffit d'avoir un jeu de deux cylindres de rechange, et le travail de mise en train peut être effectué sur ceux-ci à un endroit quelconque de l'atelier, alors que la machine fonctionne avec d'autres cylindres. Dans ces conditions, la presse n'est jamais arrêtée et produit continuellement, ce qui diminue encore les frais d'exploitation. — D'autre part, sur les presses ordinaires, le chiffre du tirage étant atteint, les clichés et la mise en train sont enlevés et remplacés par d'autres. Le travail de mise en train est donc perdu dans la plupart des cas, puisqu'elle peut assurer des tirages de 600.000 à 1.000.000 de feuilles, chiffres rarement atteints pour la plus grande partie des coupures. Sur les presses Chambon, la mise en train qui n'est pas usée est conservée sur son cylindre, et replacée instantanément sur la machine, lorsqu'il y a lieu de reprendre le tirage de cette valeur. Dans tous les cas, la mise en train est donc employée jusqu'à usure complète, et il n'y a pas de travail perdu. Cette faculté donne, de plus, une grande souplesse à l'organisation et à l'exécution des travaux.

7° La fabrication des timbres-poste sur rotatives Chambon a permis de changer radicalement le mode de confection des roulettes pour distributeurs automatiques. Jusqu'alors on opérait ainsi. Les timbres étaient imprimés sur des feuilles où ils étaient rangés par bandes de 15 unités dans le sens de la longueur et de 5 dans celui de la largeur. Ces feuilles étaient gommées et perforées par les procédés ordinaires. Les bandes étaient ensuite débarrassées du papier blanc qui les entourait forcément, puis à l'aide d'une petite marge réservée en tête et en pied, elles étaient raboutées par un collage très délicat puisque les trous de perforation devaient se superposer rigoureusement. Les bandes ainsi préparées étaient alors enroulées sur un rouet

monté sur un petit appareil actionné à la main, où des cisailles circulaires les découpaient ensuite longitudinalement à l'endroit du perforage, en vue de constituer cinq roulettes. Cet exposé succinct montre combien la confection des roulettes était compliquée et par conséquent onéreuse. La petite machine construite par M. Chambon (fig. 3) a permis de se servir des grosses bobines de timbres, déjà fabriquées dans des conditions particulièrement économiques sur des presses de son système, et de les débiter automatiquement et rapidement en petites roulettes. Cette amélioration est d'autant plus intéressante que cet article est de plus en plus demandé par le public.

8° Les presses rotatives ont permis également la fabrication des timbres-poste en feuilles de cent unités. Cette présentation, qui n'était pas possible avec l'ancien outillage, n'a procuré, il est vrai, aucune économie, mais elle a du moins donné satisfaction aux services d'exploitation, qui ont toujours réclamé contre la feuille de cent cinquante figurines, qui complique les opérations de caisse.

Enfin l'adaptation des rotatives Chambon à la fabrication des timbres-poste permettra, dans un avenir prochain, la confection automatique des carnets de timbres, qui sont actuellement obtenus par des procédés très lents et par conséquent très coûteux.

Pour terminer, il n'est peut-être pas inutile de souligner que les fruits des recherches effectuées par le service de la fabrication des timbres-poste mûrissent à une heure opportune, puisque la situation financière du pays exige impérieusement et plus que jamais la réduction des dépenses publiques.

Note complémentaire.

Quelques mots d'historique compléteront l'exposé ci-dessus de M. Demoulin.

La première proposition concernant l'impression sur rotative fut faite, à l'ancien chef de l'atelier, M. Gaumel, il y a bien longtemps, par Godchaux; il n'y fut pas donné suite, parce qu'il s'agissait d'impression en taille douce. Ensuite, Dejey offrit ses brevets ; mais le procédé n'était employé que pour des fabrications beaucoup plus grossières. Ultérieure-

ment, l'introduction des rotatives pour l'impression des mandats-poste avait montré que la Comptabilité saurait, le cas échéant, constituer un contrôle efficace pour les impressions des timbres-poste sur bande continue, le jour où l'emploi de rotatives l'obligerait à renoncer au contrôle par feuilles. Les impressions en taille douce sur rotative par les procédés d'héliogravure, propres à la maison Marinoni et à la Société alsacienne de Belfort, ne parurent pas applicables, à cause de la fluidité des encres à employer.

Vers 1906, à Berlin, on imprimait sur une machine rotative de Gandenberger, mais les clichés cylindriques étaient constitués par de multiples petits clichés de deux rangées de timbres-poste, d'un ajustage délicat. L'Imprimerie Nationale de Paris employait déjà, à cette époque, des machines Chambon pour les formules de télégrammes. Ce fut l'occasion d'entrer en relation avec l'éminent constructeur. L'idée première fut qu'il fallait avoir des cylindres d'acier gravé. Ceux-ci étant rectifiés, rendraient inutile toute mise en train, et l'ajusteur mécanicien serait substitué au conducteur de presses. Grâce à l'acier, on aurait des tirages prolongés.

D'autre part, on reprochait aux timbres-poste la variabilité de leurs dimensions ; pour éviter cet inconvénient, dû aux irrégularités du séchage après gommage, il suffisait d'imprimer sur papier préalablement gommé ; or le papier gommé en feuilles, si la gomme n'est pas cassée, opération qui nécessite un appareil spécial, se marge mal au margeur automatique ; pareil ennui n'existe plus pour du papier en bande continue. Cette considération ramenait encore à l'impression sur rotative. Ce procédé s'imposait donc.

L'obtention de cylindres d'acier gravé rectifié provenant d'un prototype par multiplication présenta des difficultés. Au contraire, la gravure chimique sur cuivre, système Viro-Fixo, paraissait apte à donner la solution, si l'on renoncait à l'acier pour le cuivre. Mais, vers le même moment, le procédé de transfert avec les machines spéciales de M. Keller-Dorian promettait d'excellents résultats. Cependant la guerre survint... Après la guerre, les avantages de travail et de sécurité qui devaient résulter de la confection d'une feuille de timbres-poste en un seul passage à la machine, comprenant, en une seule opération, l'impression, le numérotage, le séchage, le perforage, le découpage, l'assemblage par paquets et le comptage, parurent si grands, qu'on se décida à essayer l'impression sur rotative spéciale, quand bien même on ne pourrait utiliser de cylindre d'acier gravé. L'atelier recourut donc aux rotatives Chambon, et réussit dans sa tentative d'y adapter des clichés ordinaires, en dépôt direct de nickel doublé de cuivre et d'alliage.

L'intervention directe de l'atelier des timbres-poste est à noter sur les quatre articles principaux suivants ; il peut en revendiquer l'initiative et la mise au point :

1° Obtention de clichés, en coquilles demi-cylindriques convenablement cintrées, et ensuite dégagées sans aucun endommagement du cintrage, ce qui se fait par un tour de main spécial à l'atelier ;



2° Séchage à l'électricité, en remplacement des décharges en papier paraffiné ou autre ;

3° Modification de l'appareil de perforage ;

4° Application rationnelle d'un procédé de mise en train, en opposition avec le programme primitif, lequel consistait à rendre, si cela était possible, la mise en train inutile, grâce à la rectification du cylindre d'acier gravé.

L'emploi si désirable de l'acier avait présenté de telles difficultés de fabrication, que le progrès en avait été arrêté pendant de longues années ; ces difficultés étaient tournées.

J.-B. P..

L'ENREGISTREMENT GRAPHIQUE
DES PHÉNOMÈNES, NOTAMMENT A L'AIDE DE L'APPAREIL GUEUGNON,

Par A. POUCHOLLE,
Professeur d'électricité à l'École nationale d'Arts et Métiers de Paris.

Avantages des représentations graphiques. — *a*) La connaissance du graphique qui traduit la relation $y = f(x)$

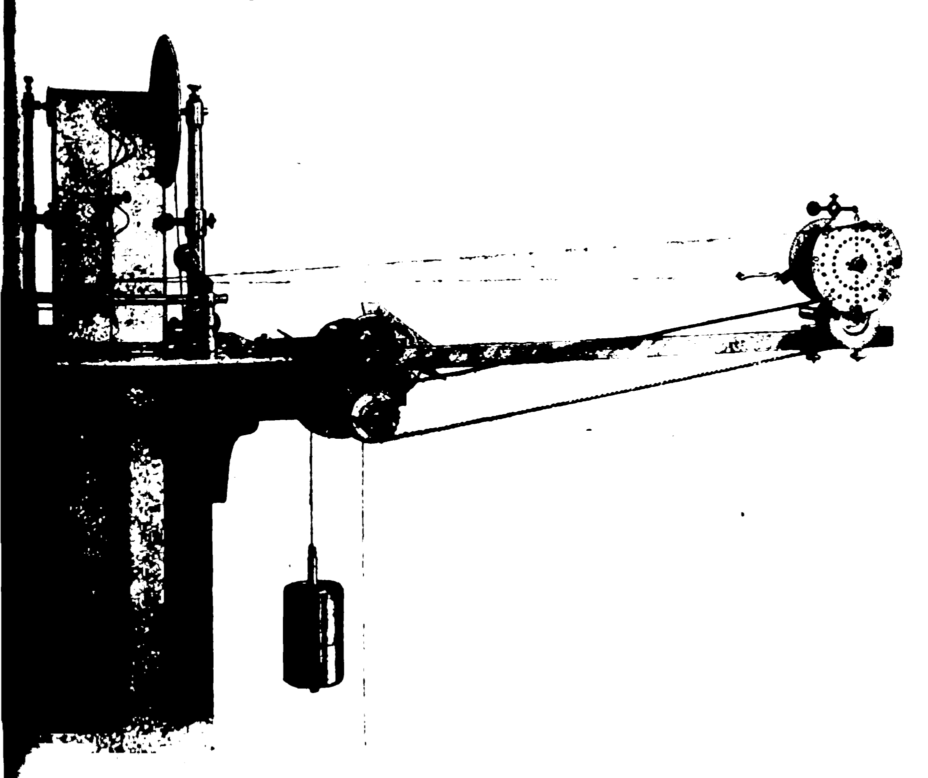


Fig. 1. — Vue générale de l'enregistreur Gueugnon pour l'addition ou la composition de deux mouvements sinusoïdaux de même période ou de périodes différentes avec amplitudes et phases quelconques.

existant entre deux grandeurs physiques équivaut pratiquement à la connaissance de la fonction ; mais l'opération qui permet de déterminer la valeur de y qui correspond à une valeur bien déterminée de x est beaucoup plus rapide et plus simple ;

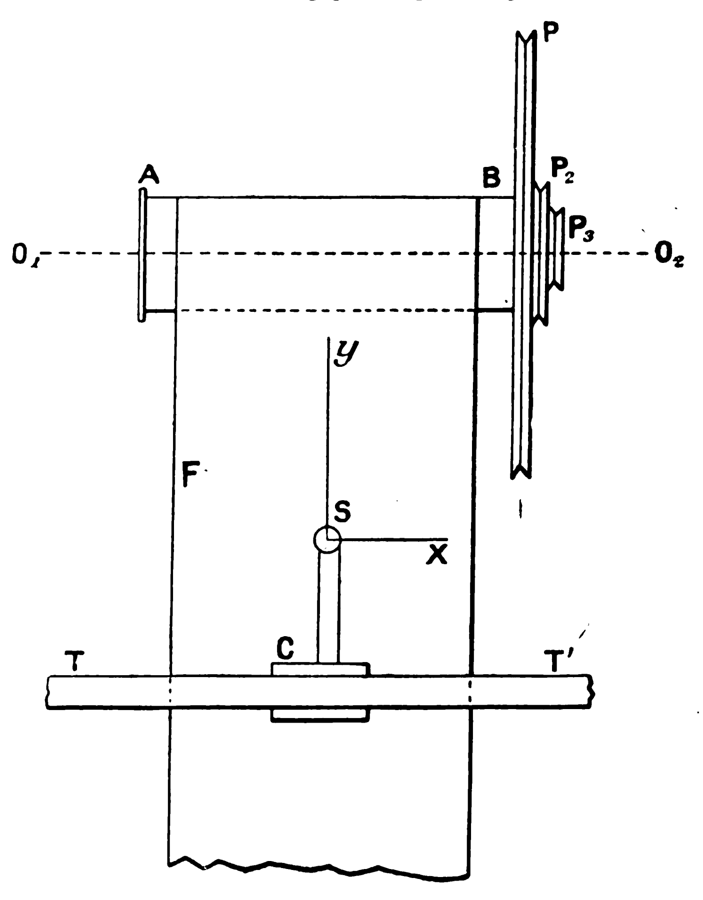


Fig. 2. — Schéma du principe de la méthode.

b) La représentation graphique met immédiatement sous les yeux l'allure du phénomène étudié. Exemple : courbe d'induction ;

c) Une grandeur physique autre que celle qui est directement représentée a souvent une interprétation simple sur le graphique. Exemple : énergie dissipée par hystérésis dans un cycle d'induction magnétique ;

d) La comparaison de graphiques se rapportant à un phénomène dépendant de plusieurs variables peut fournir, par géné-

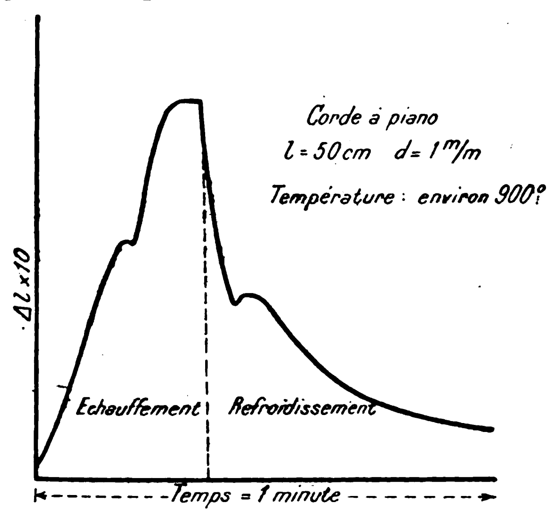


Fig. 3. — Anomalie de dilatation d'un fil d'acier à l'échauffement et au refroidissement.

ralisation, la solution de questions importantes. Exemples : notion du point critique déduite de l'ensemble des isothermes

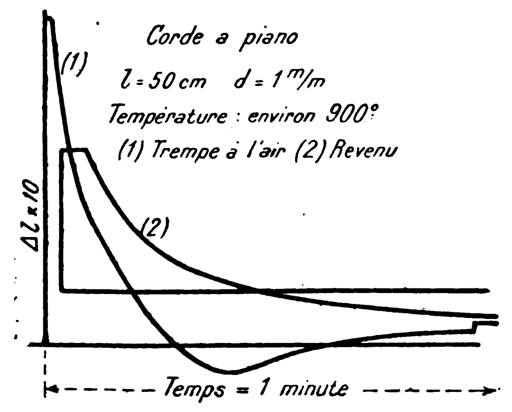


Fig. 4. — Diagrammes de trempe et de revenu.
(En ordonnées : $\Delta l \times 10$; en abcisses : les temps.)

d'Amagat; point de transformation des aciers déduit des anomalies de dilatation ;

c) Le graphique permet de démêler des phénomènes qui se produisent simultanément comme dépendant de la même variable. Exemple : harmoniques dans les courbes de courant des alternateurs.

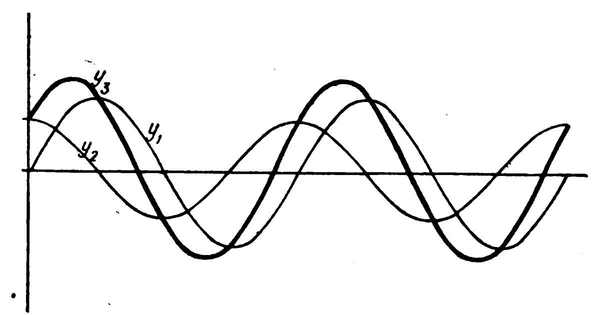


Fig. 5. — Addition de deux fonctions sinusoïdales de même période, d'amplitude différente, déphasées de $\frac{\pi}{2}$.

Résolution cinématique de : $y_3 = y_1 + y_2 = a \sin \omega t + b \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right)$.

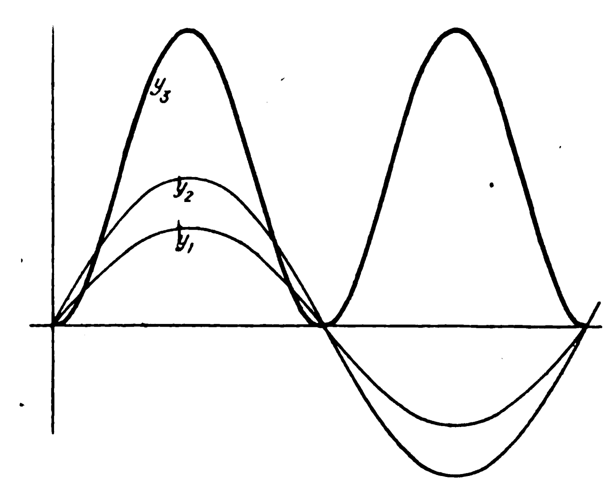


Fig. 6. — Produit de deux fonctions sinusoïdales de même période, en phase à l'origine.

Produit ramené à une somme : $y_3 = \frac{a\,b}{2} + \frac{a\,b}{2} \sin \left(2\,\omega\,t + \frac{3\,\pi}{2}\right)$.

Obtention des graphiques. — 1° par points : dangers des interpolations et des extrapolations ;

2° par inscription continue.

Principes de l'inscription continue de la relation $y = f(x)$ qui lie deux grandeurs physiques. — On donne à la surface d'inscription un mouvement de translation commandé par le phénomène à étudier.

Soit :

$$y = \varphi(t)$$

la loi de ce mouvement.

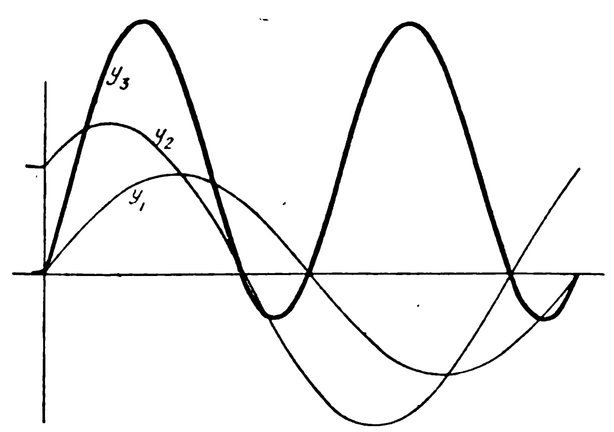


Fig. 7. — Produit de deux fonctions sinusoïdales de même période, déphasées de $\frac{\pi}{4}$.

Produit ramené à une somme : $y_3 = \frac{ab}{2}\cos\frac{\pi}{4} + \frac{ab}{2}\sin\left(2\omega t + \frac{\pi}{4} + \frac{3\pi}{2}\right)$.

Application : courbe de puissance en courant alternatif.

Puis on donne au stylet un mouvement orthogonal avec le premier, obéissant à la loi

$$x = \psi(t).$$

L'appareil élimine le temps entre les deux équations et trace la courbe

$$y = f(x).$$

Appareil Gueugnon. — Ces conditions sont réalisées comme il suit dans l'appareil Gueugnon (1).

Un tambour caoutchouté AB (fig. 2), tournant autour de

(1) L'enregistreur Gueugnon est construit par les établissements H. Morin, 11, rue Dulong, Paris (17e).

l'axe $O_1 O_2$, porte la feuille de papier sur laquelle doit se faire l'inscription. Cette feuille est constituée par une bande fermée en boucle et tendue par un rouleau ; son mouvement est solidaire de celui du tambour. Soit :

$$y = \varphi (t)$$

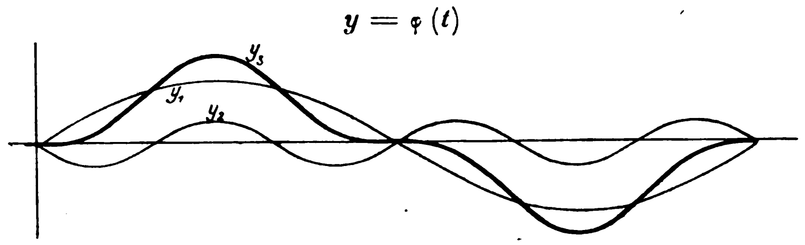


Fig. 8. — Addition de deux fonctions sinusoïdales de périodes T et T/3, déphasées de π.

Résolution cinématique de : $y_3 = y_1 + y_2 = a \sin \omega t + \frac{a}{3} \sin (3 \omega t + \pi)$.

le mouvement ainsi défini. Un curseur C, susceptible de se déplacer sur la tige TT′, porte le stylet inscripteur, qui se déplace suivant la loi :

$$x = \psi (t).$$

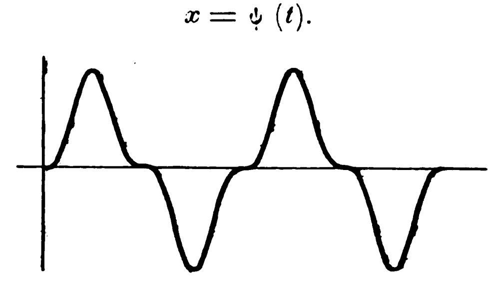


Fig. 9. — Même diagramme que sur la figure 8, avec la résultante seule et une échelle différente pour les temps (1/4). Deux périodes de y_3.
Application : influence de l'harmonique T/3 en courant alternatif.

Exemple d'application. — Soit à rechercher la loi $\Delta l = f (\Delta \theta)$ qui lie l'accroissement de longueur d'un fil d'acier à l'accroissement de température.

Les dilatations, convenablement amplifiées, seront transmises, par l'intermédiaire d'une des poulies P, au tambour et à la feuille de papier, tandis que la dilatation d'un fil d'alliage spécial (nickel-chrome), dont la loi de dilatation est *linéaire*, sera transmise au stylet.

En résumé, la feuille de papier enregistrera, en fonction du temps, des déplacements Δl; et le stylet, des déplacement $\Delta \theta$. On obtiendra dès lors la courbe $\Delta l = f(\Delta \theta)$. Les points de

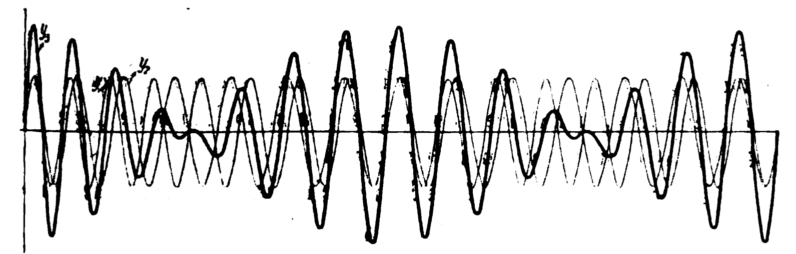


Fig. 10. — Résolution cinématique de : $y_3 = y_1 + y_2 = a \sin 8 \omega t + a \sin 7 \omega t$.
Applications : battements, interférences, etc...

transformation à l'échauffement et au refroidissement sont mis nettement en évidence [1].

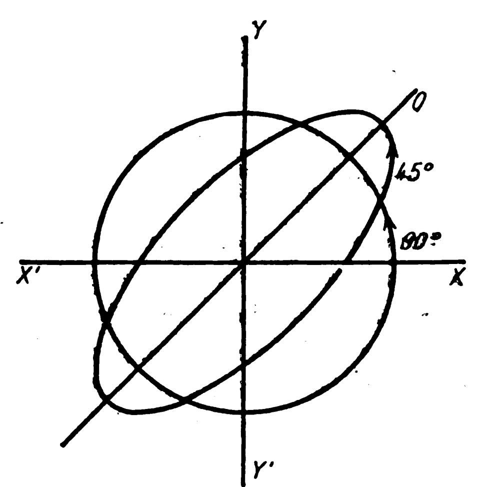


Fig. 11. — Composition de deux mouvements sinusoïdaux de directions rectangulaires.
Résolution cinématique de : $\left\{ \begin{array}{l} x = a \sin(\omega t + \varphi); \\ y = a \sin \omega t; \end{array} \right\}$ pour $\varphi = 0$; $\varphi = 45°$; $\varphi = 90°$
Applications : champs tournants, polarisation, etc...

Etude des fonctions périodiques. — L'appareil permet d'obtenir facilement la représentation graphique d'une fonction pério-

(1) Cf. *C. R. Ac. des Sc.* 174 N° 9 (1922) 611 : *Contribution à l'étude des aciers*, par M. Pouchalle.

dique simple : il suffit de commander le mouvement de la feuille de papier par un pendule, et de donner au stylet un mouvement uniforme par un mécanisme d'horlogerie annexé à l'appareil.

Le problème de l'addition de deux fonctions périodiques est résolu en communiquant au stylet un mouvement qui est à chaque instant la somme algébrique des élongations des deux mouvements pendulaires correspondants, la feuille de papier se déplaçant d'un mouvement uniforme.

Le produit de deux fonctions périodiques, se ramenant à une

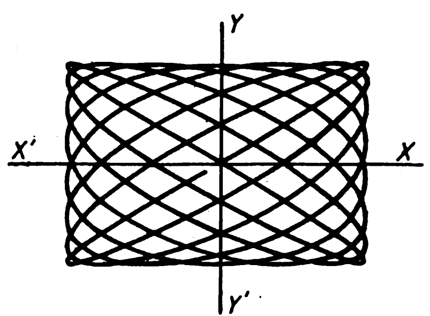


Fig. 12. — Composition de deux mouvements sinusoïdaux de directions rectangulaires.
Résolution cinématique de : $\left\{ \begin{array}{l} x = a \sin 8\, \omega t; \\ y = b \sin 7\, \omega t. \end{array} \right.$

somme de fonctions périodiques, pourra être également obtenu.

Enfin, en commandant la feuille de papier à l'aide d'un premier mouvement périodique et le stylet à l'aide d'un autre, on résoudra les divers problèmes de composition de mouvements périodiques rectangulaires (polarisation elliptique, courbes de Lissajous, champs tournants, etc...).

Enregistrement graphique des phénomènes périodiques très rapides. — Lorsqu'il s'agit d'analyser des phénomènes périodiques dont la période est de l'ordre du centième de seconde (courants alternatifs usuels) ou de l'ordre du millionième de seconde (vibrations électro-magnétiques), l'inertie des stylets matériels s'oppose à leur emploi.

Dans ce cas, comme l'a montré pour la première fois Lissajous, on peut utiliser comme stylet un faisceau de rayons lumineux, dont l'inertie est nulle (oscillographe de Blondel),

ou encore un faisceau de rayons cathodiques (oscillographe cathodique de Dufour).

Grâce à ces belles réalisations françaises, l'enseignement et

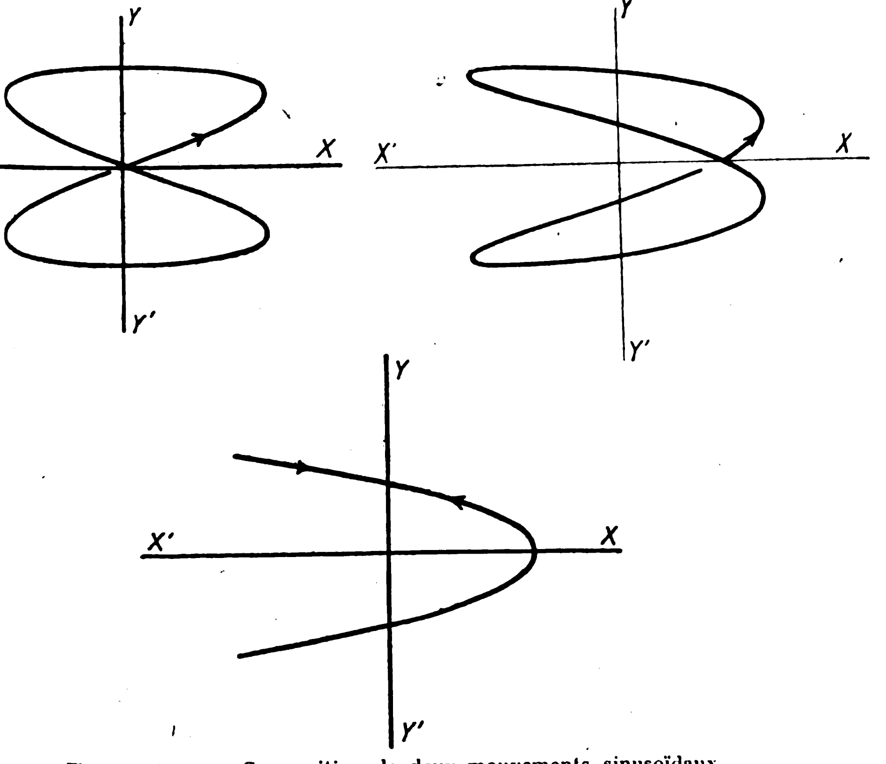


Fig. 13, 14, 15. — Composition de deux mouvements sinusoïdaux de directions rectangulaires.

Résolution cinématique de : $\begin{cases} x = a \sin (2 \omega t + \varphi); \\ y = b \sin \omega t; \end{cases}$ pour $\varphi = o$; $\varphi = 45^\circ$; $\varphi = 90^\circ$.

les laboratoires disposent dès maintenant de moyens pédagogiques et de moyens d'investigation scientifique dont il est permis de beaucoup espérer.

IMPÉDANCE OPTIMA D'UN APPAREIL TÉLÉPHONIQUE,

par R. HARMEGNIES,
Ingénieur des Postes et Télégraphes.

Cette note a pour but de donner la solution du problème de mathématiques qui se pose lorsqu'on cherche l'impédance qu'il faut donner à un appareil téléphonique placé à l'extrémité d'une ligne à constantes uniformément réparties, pour que la puissance reçue par cet appareil soit le plus grande possible.

Les lettres I, Z, E désigneront les quantités *imaginaires* qui

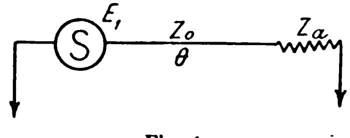


Fig. 1.

représentent les intensités, impédances et forces électromotrices; les mêmes lettres représenteront les points affixes de ces quantités imaginaires sur les diagrammes que l'on aura à tracer; $|A|$ représentera le module de la quantité imaginaire A; $\mathcal{R}$ (A) en représentera la partie réelle; A', l'imaginaire conjuguée; $j=\sqrt{-1}$ sera le symbole des imaginaires.

1er cas : Un seul appareil. — Nous appelons, suivant les notations de Hill, E_1 la force électromotrice sinusoïdale appliquée à l'origine d'une ligne d'impédance caractéristique Z_0 et d'angle θ, et Z_a l'impédance de l'appareil placé à l'extrémité de cette ligne.

Le courant qui passe dans Z_a est :

$$I_2 = \frac{E_1}{Z_0 \operatorname{sh} \theta + Z_a \operatorname{ch} \theta}$$

La différence de potentiel aux bornes est :

$$V_2 = I_2 Z_a.$$

La puissance dépensée dans l'appareil est égale au produit de $|V_2| \cdot |I_2|$ par le cosinus de l'angle de déphasage. Si l'on pose :

$$Z_a = |Z_a| e^{j\omega},$$

la relation

$$V_2 = I_2 Z_a$$

montre que cet angle est précisément égal à ω, et la puissance est :

$$P = |I_2^2| \cdot |Z_a| \cos \omega = |I_2^2| \cdot \mathcal{R}(Z_a).$$

Cherchons le minimum de

$$\frac{1}{P} = \frac{1}{|E_1^2|} \cdot \frac{|Z_0 \operatorname{sh} \theta + Z_a \operatorname{ch} \theta|^2}{\mathcal{R}(Z_a)} = \frac{|\operatorname{ch}^2 \theta|}{|E_1^2|} \cdot \frac{|Z_0 \operatorname{th} \theta + Z_a|^2}{\mathcal{R}(Z_a)}.$$

Posons :

$$Z_0 \operatorname{th} \theta = a + jb$$

et

$$Z_a = x + jy,$$

d'où :

$$\frac{|E_1^2|}{|\operatorname{ch}^2 \theta|} \cdot \frac{1}{P} = \frac{|a + jb + x + jy|^2}{x} = \frac{(a + x)^2 + (b + y)^2}{x},$$

expression dont le minimum est atteint pour :

$$x = a,$$
$$y = -b,$$

si l'on observe que x, qui représente une résistance ohmique, est nécessairement positif.

La puissance est donc maxima quand Z_a est égale à l'imaginaire conjuguée de Z_0 th θ. On trouve facilement l'expression de la puissance maxima :

$$P_{\max} = \frac{|E_1^2|}{4|\operatorname{ch}^2 \theta|} \cdot \frac{1}{\mathcal{R}(Z_0 \operatorname{th} \theta)}.$$

On peut remarquer que, sur le diagramme des Z_a, les lignes de puissance constante sont les cercles :

$$(x + a)^2 + (y + b)^2 - \frac{|E_1^2|}{|\operatorname{ch} \theta|^2} \cdot \frac{1}{P} \cdot x = 0,$$

qui font partie d'un faisceau admettant l'axe des y comme axe

radical et le point $(-a, -b)$ ou $-Z_0 \operatorname{th}\theta$ comme point de Poncelet. L'autre point de Poncelet $(a, -b)$ correspond à la puissance maxima.

2e cas : Deux appareils. — C'est le cas intéressant pour les applications à la téléphonie. Dans le cas de la figure, l'intensité du courant qui passe dans Z_b est :

$$I_2 = \frac{E_1}{\frac{Z_0^2 + Z_a Z_b}{Z_0} \operatorname{sh}\theta + (Z_a + Z_b) \operatorname{ch}\theta},$$

et la puissance reçue est, comme plus haut :

$$|I_2|^2 . \mathcal{R}(Z_b).$$

On pourrait déterminer Z_a et Z_b de façon à rendre cette expression maxima ; mais alors la puissance reçue par Z_a, quand Z_b fonctionnerait comme émetteur, ne serait pas maxima. Il est naturel de s'imposer la condition $Z_a = Z_b$ et de chercher le minimum de :

$$\frac{1}{P} = \frac{|(Z_0^2 + Z_a^2) \operatorname{sh}\theta + 2 Z_0 Z_a \operatorname{ch}\theta|^2}{|E_1^2| . |Z_0^2|} \cdot \frac{1}{\mathcal{R}(Z_a)}.$$

Il est facile de voir qu'on aurait le même résultat en cherchant le maximum de la somme des puissances absorbées respectivement par Z_a et Z_b quand Z_b et Z_a émettent des forces électromotrices égales.

La condition que l'on s'impose paraîtra ainsi plus naturelle encore.

Écrivons maintenant :

$$\frac{1}{P} = \frac{|\operatorname{sh}^2\theta|}{|E_1^2| . |Z_0^2|} \cdot \frac{\left|Z_a + Z_0 \operatorname{th}\frac{\theta}{2}\right|^2 . \left|Z_a + \frac{Z_0}{\operatorname{th}\frac{\theta}{2}}\right|^2}{\mathcal{R}(Z_a)}.$$

Appelons A, B, M, N, les points affixes de $Z_0 \operatorname{th}\frac{\theta}{2}$, $\frac{Z}{\operatorname{th}\frac{\theta}{2}}$, Z_a, $-Z_a$.

Le problème revient à chercher, dans le plan de la variable

Z_1, le point N qui rend minimum $\frac{NA^2 . NB^2}{NH}$, H désignant la projection de N sur Oy.

D'après ce qu'on a vu dans la première partie, les cercles

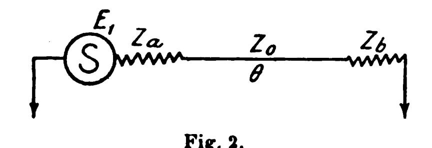


Fig. 2.

$\frac{NA^2}{NH} = C^{te}$ forment un faisceau d'axe radical Oy, dont A est un point de Poncelet. Le faisceau orthogonal est formé des cercles qui passent par A et par A_1, symétrique de A par rapport à Oy.

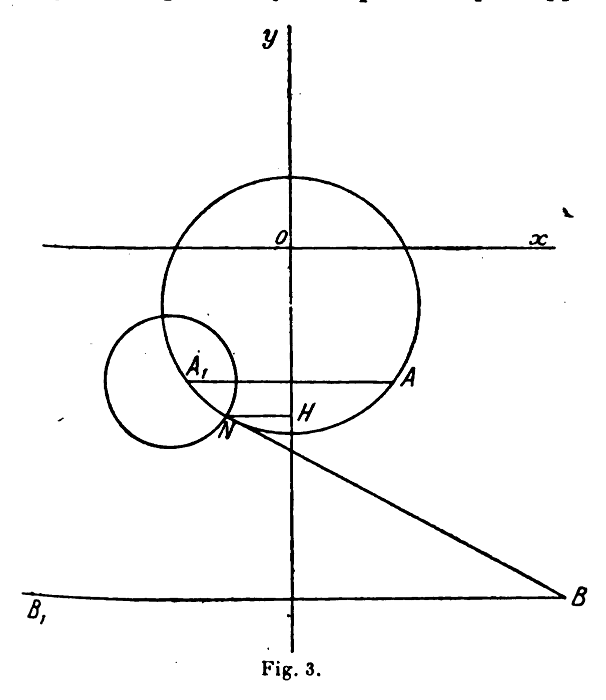


Fig. 3.

Si N se déplace sur un cercle $\frac{NA^2}{NH} = C^{te}$, le point correspondant au minimum de $\frac{NA^2 . NB^2}{NH}$ est le pied de la normale

abaissée de B sur ce cercle. La tangente en N au cercle AA_1N passe donc par B. Le minimum cherché sera donc réalisé par un point satisfaisant à cette condition et à la condition analogue, à savoir que la tangente en N au cercle BB_1N passe par A.

Ce point ne peut être construit au moyen de la règle et du compas ; mais on peut trouver plusieurs courbes qui doivent le porter. Par exemple :

1° le lieu des points de contact des tangentes issues de A aux cercles passant par B et B_1 : c'est une cubique circulaire passant en A, B et B_1, tangente en A au cercle ABB_1, en B et B_1 à AB et AB_1 ;

2° le lieu des points de contact des tangentes issues de B aux cercles passant par A et A_1 : c'est une cubique circulaire passant en B, A et A_1, tangente en B au cercle BAA_1, en A et A_1 à BA et BA_1 ;

3° l'hyperbole équilatère qui a son centre au milieu de A_1B_1, admet les directions des axes comme directions asymptotiques et passe en A_1 et B_1 ; on peut vérifier, en effet, que les bissectrices de l'angle A_1NB_1 sont parallèles aux axes (propriété caractéristique de cette hyperbole).

Ces trois courbes peuvent donner une bonne détermination graphique du point N cherché. Le point M, correspondant au maximum de puissance, est alors le symétrique de N par rapport à l'origine des coordonnées.

ASCENSEURS ÉLECTRIQUES.

Le cours de matériel postal, professé aux élèves de l'École supérieure des P. T. T., comporte des notions sur les ascenseurs. On ne peut prétendre donner une description détaillée de tous les systèmes en usage. On cherche plutôt à faire connaître les applications variées.

On peut classer les appareils mécaniques de manutention en diverses catégories, suivant qu'ils desservent des lignes horizontales ou verticales, des surfaces ou des volumes. L'ascenseur effectue des transports suivant une ligne verticale ; c'est là sa caractéristique, mais la manœuvre de cet engin dépend des conditions d'emploi. Aux États-Unis, il y a presque toujours un wattman dans la cabine : c'est lui qui règle les mouvements et la vitesse à sa guise. On a affaire à un véritable tramway à voie verticale ; il y a des lampes de signalisation permettant de suivre la marche, d'appeler l'ascenseur, d'éclairer le pas à l'entrée de la cabine, etc. En France, au contraire, la fréquentation de l'ascenseur n'est pas suffisante pour lui affecter un opérateur ; on préfère donc les dispositifs automatiques ; pour racheter cet avantage, on se contente des vitesses les plus modérées.

Le dispositif automatique le plus complet et généralement en usage aujourd'hui, est celui de la manœuvre à un bouton. Le cours donne des exemples des ascenseurs Édoux avec manœuvre à un bouton ; il comporte aussi la description qu'autrefois M. Bélugou, ingénieur des télégraphes, a faite des ascenseurs installés par Sautter-Harlé, à l'hôtel des postes de Paris, lesquels continuent à y être en service pour un trafic de plus en plus chargé. Ils donnent d'ailleurs entière satisfaction. Naturellement, les prescriptions de sécurité sont aussi passées en revue ; mais enfin, il faut fixer les idées ; et, depuis bien longtemps, l'habitude s'est prise de décrire, d'une façon un peu complète, un

simple monte-charges Édoux, d'un modèle ancien toujours utile à étudier, qui, à l'époque où il fut conçu, assura pendant de longues années une véritable supériorité à cette maison. Pour manœuvrer le monte-charges, on tire sur une corde dans un

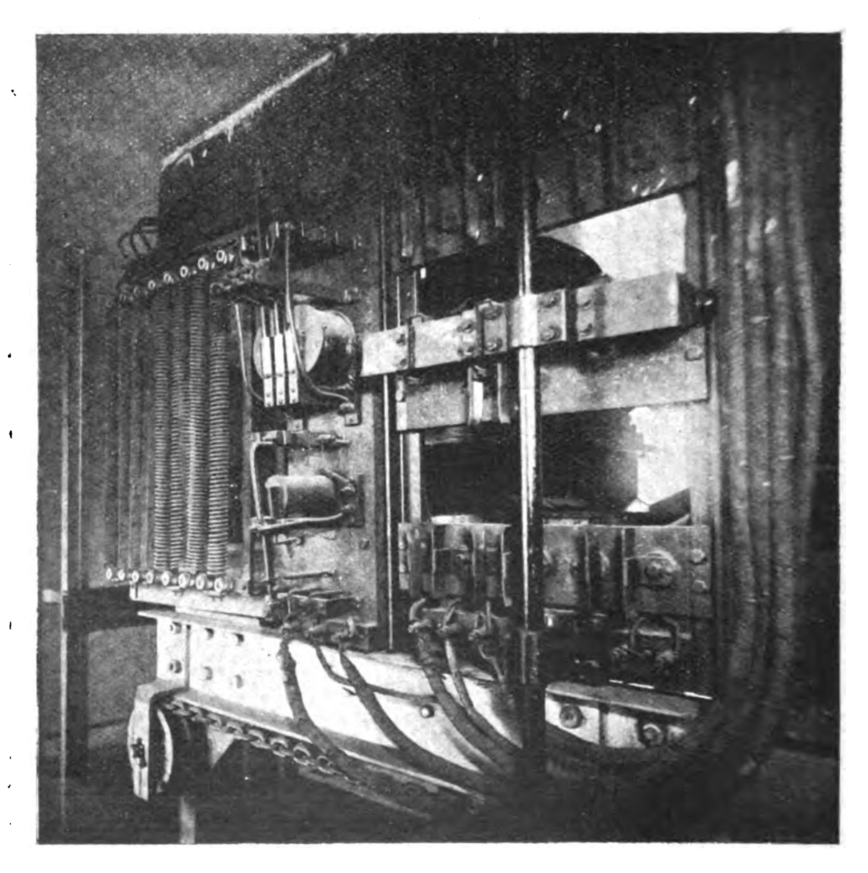


Fig. 1.

sens pour la montée, dans l'autre sens pour la descente ; une butée, convenablement disposée à l'étage, agit, au moment où la benne y arrive, sur le taquet d'arrêt correspondant porté par la benne, et par là la corde se trouve ramenée à la position médiane, qui est celle du repos. Quand la corde est tirée, soit vers le haut, soit vers le bas, elle ouvre certains contacts et en ferme d'autres, au moyen d'olives métalliques. Chacune de ces

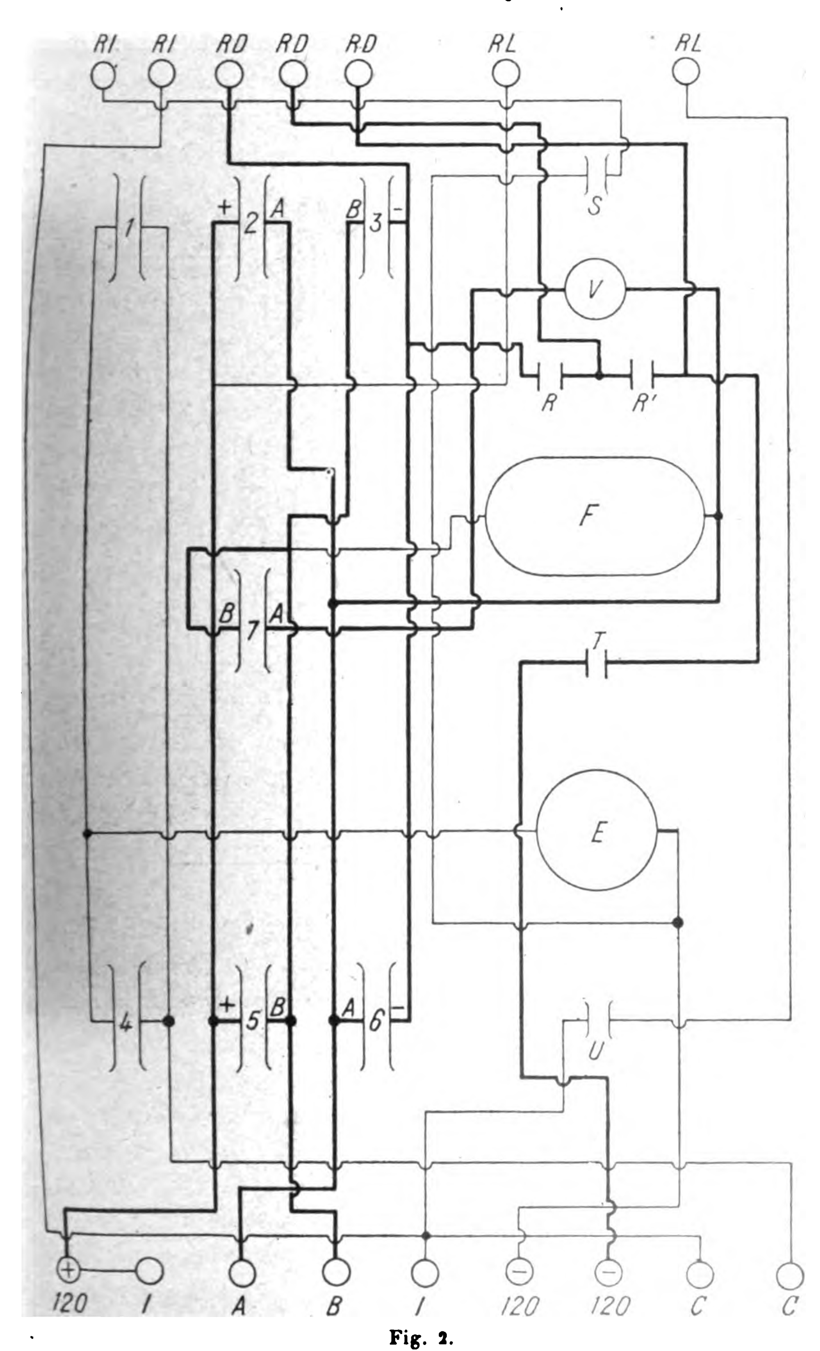

RI
RI
RD
RD
RD
RL
RL
1
+
2
A
B
3
-
S
V
R
R'
F
B
7
A
T
E
4
+
5
B
A
6
-
U
120
I
A
B
I
120
120
C
C

Fig. 2.

olives peut venir s'insérer pour établir la liaison électrique entre deux lames de ressort, séparées normalement à un certain écar-

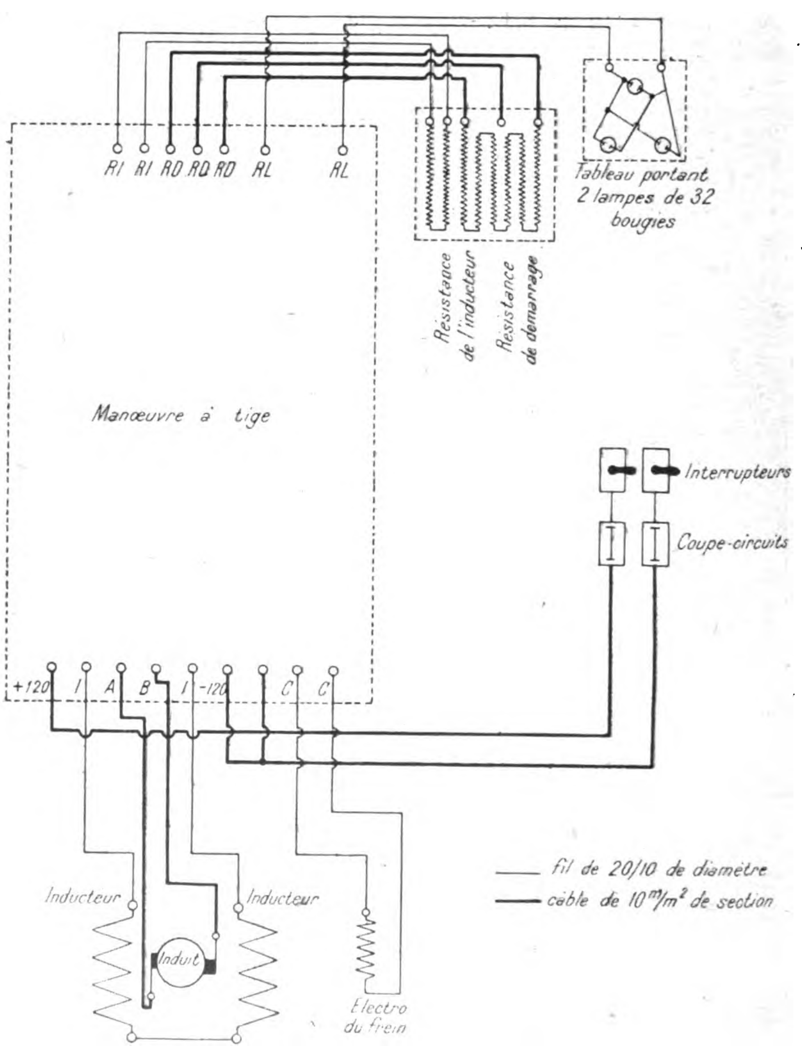


Fig. 3.

tement l'une de l'autre. La corde fait coulisser devant le tableau de manœuvre une sorte de châssis qui porte les trois olives nécessaires. Les contacts à ressort sont disposés convenablement sur la voie desdites olives.

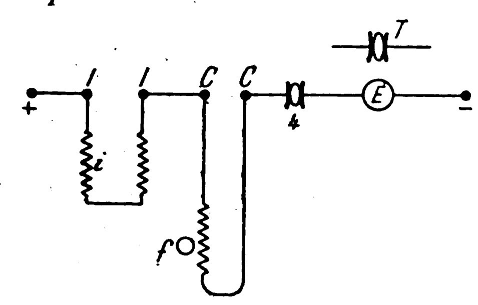
Ces explications sommaires, jointes à l'examen des figures, permettront, nous l'espérons, de suivre facilement la description des manœuvres. Disons encore qu'il s'agit d'un simple monte-charges, et que l'on ne doit pas juger, d'après ce modèle fourni il y a trente ans, si intéressant soit-il, des appareils les plus récents fournis par le même constructeur avec les derniers perfectionnements.

Manœuvre électrique des monte-charges Édoux.

La figure 1 donne une vue d'ensemble des organes ; et les figures 2 et 3, des schémas généraux. Les figures non numérotées, intercalées dans le texte, sont des fragments simplifiés des figures 2 et 3.

Mise en marche (pour la montée, par exemple). — Les contacts 4, 5, 6 sont fermés par la tringle de manœuvre.

1er effet produit par l'envoi d'un courant lors de la mise en route.

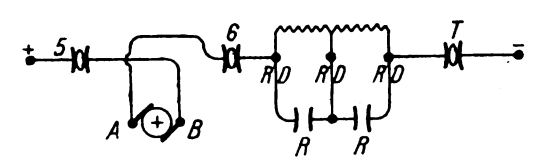


1° les électro-inducteurs sont excités ;

2° le frein *f* est débloqué ;

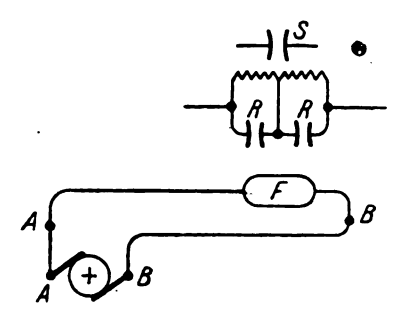
3° l'électro E est excité et ferme le contact T.

2e effet produit.



Le courant circule dans l'induit et les résistances de démarrage.

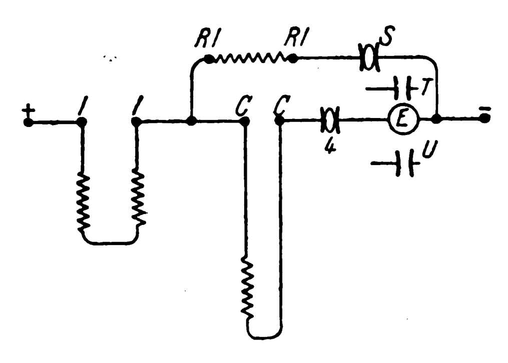
3e effet produit.



La force électro-motrice croissante entre les balais A et B agit sur le relais F qui ferme successivement les contacts R, R de façon à supprimer les résistances de démarrage et le contact S qui ouvre un second chemin au courant d'excitation.

4e effet produit.

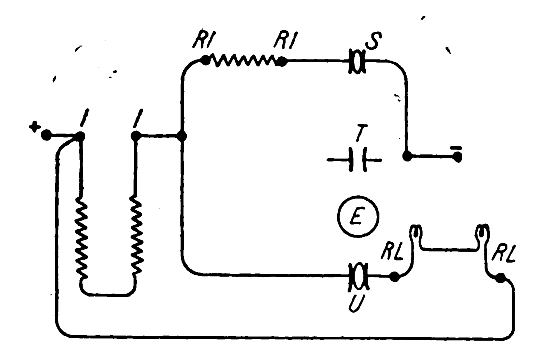
Second passage du courant d'excitation.



La marche est alors normale, T est fermé, U est ouvert.

Passage à la position d'arrêt. — Les contacts 4, 5, 6 sont enlevés par la tringle de manœuvre et le contact 7 est établi.

1° Courant d'excitation.

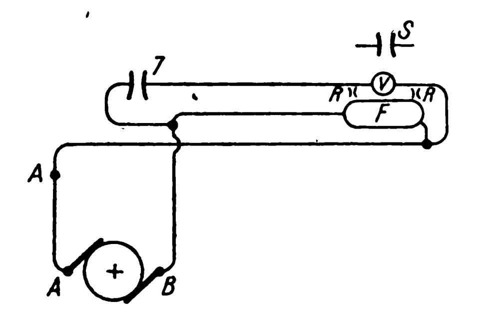


Le contact 4 est rompu, le frein est remis ; T est ouvert, U est fermé, les lampes R, L sont mises en dérivation sur les bobines de l'inducteur.

2° Courant du secteur dans l'induit.

Il est rompu en 5 et 6 et T.

3° Courant dû à l'induit, après fermeture du contact 7.



Le courant d'induit circulant dans F diminue et les contacts R rompus enlèvent les courts-circuits qui supprimaient les résistances de démarrage. L'électro F lâcherait aussi le levier qui ferme le contact S ; mais l'électro V est parcouru par le contact de court-circuit et maintient un moment ledit contact ; quand celui-ci est enfin rompu, l'extra-courant des inducteurs est en partie absorbé par les résistances R L.

En résumé, la manœuvre électrique à tige avec relais est la suivante :

Quand l'appareil est en position de montée, les contacts 4, 5, 6, du bas du tableau de manœuvre sont fermés et tous les autres sont ouverts.

Dans ces conditions, le courant d'excitation à 110 volts se trouve fermé en 4 et passe par l'inducteur *i* et l'électro-aimant de relais E. Cet électro ferme le contact *i* et lance par cette voie le courant à 110 volts dans l'anneau. Ce courant traverse les contacts *b*, *a* qui déterminent le sens de rotation de l'anneau.

L'électro-aimant F, monté en dérivation aux bornes des balais, reçoit un courant qui doit s'accroître progressivement en même temps que la vitesse et ferme successivement les contacts R, R qui suppriment les résistances de démarrage RD, RD.

Cet électro, par un autre levier, ferme le courant S qui ouvre un deuxième passage au courant d'excitation et a pour but de maintenir l'inducteur excité quand le contact 4 est coupé. Si donc on passe de la position de montée à celle d'arrêt (7), les deux balais sont mis en court-circuit par le contact 7 et la dynamo est bloquée. L'électro Y, parcouru par le contact de court-circuit, sert à maintenir au collage le levier qui ferme le contact S et, par conséquent, à garder l'excitation jusqu'à la fin de la manœuvre.

Les lampes L L sont, au moment de l'arrêt, mises en dérivation sur l'inducteur par le contact U et servent à absorber, en partie, l'étincelle d'extra-courant de rupture qui se produit en S.

Cette manœuvre est, on le voit, des plus simples et n'est susceptible d'aucun dérangement, quelle que soit la manière dont on manœuvre la tige, car, dès qu'il y a contact, les connexions se trouvent établies sur les électro-aimants.

*
* *

Si nous revenons aux ascenseurs, ajoutons, pour ne pas être trop incomplet, que les mesures de sécurité consistent à empêcher l'ouverture d'une porte d'étage, lorsque la cabine n'est

pas à son niveau et à empêcher le mouvement de la cabine dès que l'une des portes donnant accès à la cage de l'ascenseur est ouverte. Les combinaisons employées à cet effet s'appellent les *condamnations*.

Quand on emploie une manœuvre à un bouton, il suffit d'appuyer sur un seul bouton dans une rangée de boutons placée à chaque poste de manœuvre pour que la benne ou cabine se mette immédiatement en marche pour se rendre au poste indiqué par le bouton pressé. Le bouton actionné envoie le courant de commande nécessaire, mais on aura soin de faire parcourir au circuit que doit suivre ce courant un tracé passant par toutes les condamnations qui doivent ne lui laisser la voie libre que si tout est en ordre. On peut considérer comme un perfectionnement de construction l'agencement appelé *contrôleur d'étages* dont l'idée repose sur la remarque suivante : le mouvement du tambour sur lequel s'enroule la corde de suspension de la benne est évidemment solidaire du déplacement de la benne, de telle sorte que l'angle dont ledit tambour a tourné indique avec précision la position occupée par la benne. Il en résulte que les taquets et les butées que l'on avait toujours placées autrefois sur la benne elle-même et sur le bâtis métallique de la cage de l'ascenseur peuvent, si on le préfère, être reportés auprès du tambour sur un organe dont le déplacement sera commandé par sa rotation. On peut ainsi remplacer des pièces de fortes dimensions exposées à des chocs plus ou moins violents par des leviers légers suffisants pour assurer les contacts électriques nécessaires, et de plus l'ensemble de ces mécanismes a tout avantage à être soustrait aux tentatives inconsidérées des personnes non qualifiées.

TIMBRES-POSTE DES ARTS DÉCORATIFS.

Nous ne voulons pas revenir sur l'article qui a été publié dans le numéro des *Annales* du mois de février et qui était consacré au timbre Ronsard. Quelques personnes ont trouvé un peu grêle l'aspect de ce timbre commémoratif; mais le public a su reconnaître et apprécier le cachet archaïque, qui en rappelle le caractère historique. On ne peut, en effet, sans anachronisme traiter la figure du grand poète lyrique de la Renaissance comme celle d'un de nos contemporains. Cela dit, nous allons donner à nos lecteurs quelques renseignements sur l'émission des timbres des arts décoratifs.

A l'occasion de l'exposition internationale des Arts décoratifs et industriels modernes, qui a lieu à Paris en 1925, une loi du 1er mai 1924 autorisa l'émission de timbres-poste spéciaux de 5, 10, 25, et 50 centimes et de cartes postales à 30 centimes. La durée de validité de ces figurines est limitée au 31 décembre 1925, tout le stock restant à cette date devant être officiellement détruit.

Mais, certaines taxes postales ayant été modifiées, il a été décidé que l'émission porterait sur les timbres de 10, 15, 25 et 75 centimes et sur les cartes postales à 45 centimes.

Par arrêté du 14 mai 1924, le commissaire général de l'exposition ouvrit un concours entre tous les artistes français, en vue de l'exécution des dessins devant servir à l'émission des nouveaux timbres. Le concours fut clos le 10 juin. Un jury, composé d'artistes, de philatélistes, de fonctionnaires de l'exposition, de l'administration des Postes et des Beaux-Arts, prima quatre des sujets présentés : il fut attribué :

4.000 fr. au premier (dessin de M. Becker);

2.000 fr. au deuxième (dessin de M. Sicart);

1.000 fr. au troisième (dessin de M. Becker) ;

500 fr. au quatrième (dessin de M. Becker).

Toutefois le comité de l'exposition, qui s'était réservé le droit de ne pas reproduire les sujets primés, a décidé de n'émettre provisoirement que des timbres à 25 et à 75 centimes du dessin n° 1, qui représente un potier décorant un vase. Dans ce sujet, l'artisan, placé devant son four de briques, tient de la main gauche le vase qu'il décore.

Rappelons que M. Becker est l'auteur des dessins des timbres des Jeux olympiques, et que sa biographie a été publiée ici même, dans le n° 12 de 1924.

La gravure des timbres du type « Le Potier » a été confiée, par le comité de l'exposition, à M. Abel Mignon ; on trouvera ci-dessous une notice relative à la personnalité et aux travaux de cet artiste.

La composition du sujet, en deux couleurs, telle qu'elle a été présentée par le dessinateur, aurait offert de grandes difficultés pour le *repérage*, c'est-à-dire pour la juxtaposition parfaite des deux tons. Pour faciliter dans une certaine mesure ce repérage, le graveur a été amené à border d'un cerne le personnage et le vase, qui se trouvent ainsi silhouettés.

Le timbre de 25 centimes a été imprimé en deux tons rouges, formant cependant opposition ; et le 75 centimes, en bleu sur fond bleu violacé.

Le tirage de ces deux valeurs a été fixé provisoirement à 50 millions pour le 25 centimes et à 10 millions pour le 75 centimes.

NOTICE SUR M. ABEL MIGNON.

M. Abel Mignon, né à Bordeaux, le 2 décembre 1861.

Ancien élève de l'École des Beaux-Arts, des ateliers de peinture (professeur Gérome) et de gravure (professeur Henriquel-Dupont), a obtenu dans ces ateliers des récompenses comme peintre et graveur (1883 et 1884).

Récompensé au concours de Rome (gravure, 1884).

Société des artistes français : mention en 1887, bourse de voyage en 1889, médaille de 3e classe en 1892, médaille de 2e classe en 1895, médaille de 1re classe en 1900.

Médaille d'or à l'exposition universelle de 1900 ; médaille d'honneur en 1907.

Chevalier de la légion d'honneur en 1908.

Membre et président du jury de gravure en 1922, membre du jury de la section des arts décoratifs en 1924, membre du comité de la Société des Artistes français, membre du conseil d'administration de la Société des Artistes français, et secrétaire dudit conseil.

Lauréat de l'académie des Beaux Arts en 1904 et en 1923.

Président d'honneur de la Société des Artistes graveurs au burin.

Professeur de dessein à l'académie Colarossi en 1913-1914.

PRINCIPALES GRAVURES A L'EAU-FORTE ET AU BURIN EXÉCUTÉES PAR M. ABEL MIGNON.

La Madone......................	d'après	Dagnan-Bouveret,
Le Repas des fiançailles...........	»	Louis Leloir,
Le Printemps....................	»	Burnes Jones,
Sérénade aux mariés.............	»	Toudouze,
Mme Vigée-Lebrun et sa fille	»	Vigée-Lebrun,
Le Maréchal-Ferrant, Le Décameron,		
La Halte, Le Coup de l'étrier......	»	Meissonier.

COMMANDÉS PAR L'ÉTAT.

Les Conscrits....................	d'après	Dagnan-Bouveret,
Les trois Grâces.................	»	Botticelli,
Van Hethuyzens.................	»	Franz Hals,
Port de Bordeaux...............	»	J. Vernet,
Port de Marseille................	»	J. Vernet.

GRAVURES ORIGINALES, COMPOSÉES ET GRAVÉES.

L'Abri,
Passage difficile,
Le Matin,
Gardeuse d'oies,
La Fée des iris (pour la ville de Paris),
Portrait de Clemenceau,
La neige dans la forêt } en couleurs.
Jours heureux }

GRAVURES SUR ACIER EN TAILLE DOUCE.

Figure du Tasse (billet de banque de 100 lires) Figure Salvator Rosa (billet de banque de 50 lires)	pour la banque de Naples.
Portrait du roi d'Angleterre (billet de banque anglo-indou) Figure (billet de banque pour colonie anglaise sud-africaine)	Maison Macdonald, à Londres.

TIMBRES-POSTE.

Sur acier en taille douce pour le Maroc, Rabat et Fez.

» » 5 timbres pour la Grèce.

Pour les colonies, gravés sur bronze en relief : Dahomey, Sénégal, Niger, Éthiopie (impératrice), 5 timbres pour l'Indo-chine, Arts décoratifs.

Timbres du Grand Liban et de la Syrie (taille douce) pour la maison Motti.

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUES EN LANGUE FRANÇAISE.

Expériences sur les appareils téléphoniques (effet de Larsen (*R.G.E.* : 15 novembre 1924). — Si l'on place le récepteur d'un circuit téléphonique en face du microphone, des oscillations continues peuvent s'établir, et le téléphone « hurle », c'est-à-dires qu'on entend une note continue (effet de Larsen). Quand on shunte le récepteur avec un condensateur ou qu'on insère une inductance dans son circuit, la note baisse ; quand on ajoute une résistance, la note s'élève. Supposons que le diaphragme du microphone vibre et que son mouvement soit représenté par $a \sin \omega t$; le mouvement produira dans le circuit électrique un courant alternatif dont la phase changera à mesure qu'il progressera à travers l'amplificateur et le téléphone récepteur. La vibration du récepteur téléphonique peut être représentée par $b \sin (\omega t + \varphi)$, φ étant la différence de phase entre la vibration initiale du microphone et la vibration résultante du récepteur. La vibration du diaphragme du récepteur produit une onde sonore vers le microphone dont la phase dépend de la distance récepteur-microphone. Les oscillations de l'air en face du diaphragme du microphone seront représentées par $c \sin (\omega t + \varphi + \theta)$. Si $\varphi + \theta = 0°$ ou $360°$, les vibrations de l'air sont en phase avec celles du diaphragme du microphone qui en est la cause initiale. Ce phénomène peut être utilisé pour la mesure de la vitesse du son. En prenant un oscillographe pour enregistrer le courant à travers le récepteur du hurleur, on trouva une longueur d'onde moyenne de $14^{cm},75$, correspondant à une hauteur du son de 2284 p : s ; on en déduisit la vitesse v du son par la formule $v = n \lambda = 2284 \times 14,75 = 3,37 \times 10^4$ cm : s. En faisant la correction de température, on trouve finalement $v = 3,28 \times 10^4$ cm : s, valeur qui ne diffère que de 1 % de celle qui est généralement adoptée.

Amortissement des oscillations d'un résonateur hertzien (W.-P. ALLIS, dans *Comptes rendus de l'Acad. des Sciences* : 16 octobre 1924). — Nous nous sommes proposé de déterminer l'amortissement d'un résonateur en l'excitant par des ondes entretenues. Nous avons, à cet effet, tracé la courbe de résonance en employant, comme l'a fait Bjerknes, en 1895, dans le cas d'ondes amorties, une méthode électrométrique. Les expériences ont porté, non sur un résonateur circulaire de Hertz, mais sur un résonateur du genre de celui de Blondlot, et de capacité assez grande pour que lui soit applicable la formule de Thomson.

Le résonateur est un carré de 10^{cm} de côté, en fil de cuivre de 37^{cm} de diamètre. Au milieu de l'un des côtés est intercalé un condensateur dont les armatures sont des plaques carrées de $4^{cm},8$ de côté. On peut modifier la capacité en changeant la distance de ces plaques. Celles-ci sont réunies, par des fils de 5^{cm} de longueur, à deux petits plateaux de $0^{cmq},5$ de surface, distants de $2^{cm},5$. Entre ces deux plateaux est suspendue, par un fil de quartz, une aiguille d'aluminium. Lorsque le résonateur oscille, l'aiguille dévie, et la déviation est mesurée au moyen d'un miroir fixé à l'aiguille. On a préalablement gradué cet électromètre en le comparant, pour la fréquence 50, à un voltmètre. Une déviation de 10^{cm} sur une échelle de 150^{cm} correspond à $33^{V},9$.

Un oscillateur à lampe agit, en couplage très lâche, d'une part sur le résonateur, d'autre part sur une ligne formée de deux fils de cuivre parallèles, distants de 2^{cm} et réunis à leur origine par une soudure thermo-électrique. Le long de la ligne, on déplace un pont constitué par une plaque de cuivre percée de deux trous à travers lesquels passent les fils de la ligne. Lorsque la partie de la ligne comprise entre son origine et le pont est voisine de la résonance, un galvanomètre relié à la soudure dévie. La moyenne entre deux positions très rapprochées du pont pour lesquelles le galvanomètre indique la même déviation est la position de résonance. La distance entre deux positions de résonance successives mesure la demi-longueur d'onde de l'oscillateur.

On construit l'oscillateur de telle sorte que sa période soit voisine de celle du résonateur. Pour permettre de petites variations de fré-

quence de part et d'autre de l'accord, on intercale sur le circuit de l'oscillateur un ensemble de deux tubes parallèles en verre, remplis de mercure, dans lesquels glissent les deux branches d'un fil de cuivre recourbé en forme d'U. Pour diverses positions du fil en U, on mesure, d'une part la demi-longueur d'onde, d'autre part la déviation de l'électromètre. On peut alors tracer la courbe de résonance et en déduire la longueur d'onde et le décrément logarithmique des oscillations du résonateur.

Quand on approche de l'accord, le résonateur réagit sur l'oscillateur et fait un peu diminuer l'amplitude de ses oscillations, comme l'indique un ampèremètre thermique en série sur cet oscillateur. On modifie alors le chauffage de la lampe de façon à maintenir cette amplitude constante.

Le résonateur avait une self-induction invariable pour laquelle le calcul donne une valeur voisine de 270 unités électromagnétiques. Les capacités utilisées étaient comprises entre $0,9 \times 10^{-20}$ et $6,3 \times 10^{-20}$ unités électromagnétiques. Pour avoir une idée de la capacité de l'électromètre, nous avons cherché la longueur d'onde du même résonateur avec et sans électromètre ; on constatait la résonance en observant la réaction sur l'oscillateur. Cette capacité a été trouvée égale à $0,057 \times 10^{-20}$ unités.

La formule de lord Rayleigh relative à l'effet pelliculaire donne la résistance ohmique en haute fréquence du résonateur et la valeur du décrément δ_J qui correspondrait à cette seule résistance.

Le décrément des oscillations libres du résonateur tiré de la courbe de résonance est la somme de deux termes dont l'un, δ_J, correspond à l'effet Joule, et l'autre, δ_H, au rayonnement. Le premier étant calculé à partir de la résistance ohmique, l'autre est obtenu par différence. Le tableau suivant donne les résultats des mesures pour diverses longueurs d'onde λ exprimées en centimètres :

λ.	δ_J.	δ_H.	$\lambda^2\delta_H$.
302,5	0,0017	0,0141	1.290
461,8	0,0021	0,0053	1.130
555,5	0,0023	0,0035	1.070
779,4	0,0028	0,0020	1.220

Le produit $\lambda^2 \delta_H$ varie peu et ses variations sont de l'ordre des

erreurs expérimentales possibles. On peut donc conclure des expériences que

$$\delta_H = 1.180\,\lambda^{-2}$$

est inversement proportionnel au carré de la longueur d'onde.

S. Lagergren [1], à la suite de mesures sur des ondes amorties avec des résonateurs du genre de ceux de Hertz et pour des ondes de 8 à 35 mètres, avait indiqué la proportionnalité à $\lambda^{-\frac{3}{2}}$. Les mesures plus précises, en ondes entretenues, pour des résonateurs auxquels est applicable la formule de Thomson, nous fournissent une loi de variation toute différente.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

Note sur la théorie des lignes artificielles (*Philosophical magazine* : novembre 1924). — Une ligne téléphonique de lon-

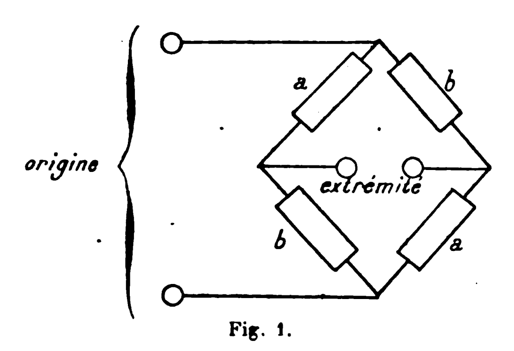


Fig. 1.

gueur l, ayant, par unité de longueur, une inductance L, une résistance R, une capacité C, et une conductance de perte S, peut être remplacée, tout au moins en ce qui concerne les mesures faites aux extrémités, par divers circuits simples. L'un de ces circuits est représenté par la figure 1. Les valeurs des quantités a et b sont données par les équations :

(1) S. Lagergren, *Wied. Ann.*, t. 64, 1898, p. 305.

$$\left\{\begin{array}{l} a = Z_0 \coth \frac{Pl}{2}, \\ b = Z_0 \tanh \frac{Pl}{2}, \\ Z_0 = \frac{\sqrt{R + j\omega L}}{\sqrt{S + j\omega C}}, \\ P = \sqrt{R + j\omega L}\ \sqrt{S + j\omega C}, \\ \omega = 2\pi f, \end{array}\right.$$

f étant la fréquence.

Dans d'autres circuits équivalents du même genre, apparaissent des impédances, dont l'expression mathématique comporte, outre des tangentes et des cotangentes hyperboliques, des sinus et des cosécantes hyperboliques. Jusqu'ici, les méthodes dont il est question dans cette note n'ont pu être appliquées à de tels circuits. Les éléments de ces circuits, tels que $Z_0 \tanh \frac{Pl}{2}$, peuvent être réalisés, pour n'importe quelle fréquence donnée, par une résistance, en série soit avec une capacité, soit avec une inductance ; mais une telle réalisation cesse d'être acceptable quand la fréquence change.

Dans la pratique, quand on a à réaliser une ligne artificielle équivalente à une ligne longue, on la divise en un certain nombre de parties de faible longueur $\frac{l}{n}$. Dans ce cas, $\frac{Pl}{2n}$ est petit, de sorte que l'on a :

$$Z_0 \tanh \frac{Pl}{2n} = Z_0 \frac{Pl}{2n} = (R + j\omega L) \frac{l}{2n}.$$

Cette dernière expression représente une résistance $\frac{Rl}{2n}$ en série avec une inductance $\frac{Ll}{2n}$: les valeurs trouvées sont indépendantes de la fréquence, tout ceci s'appliquant à la condition que $\frac{l}{n}$ soit assez petit.

Le but de cette note est de mettre en lumière une autre méthode n'obligeant pas à diviser la ligne en courts tronçons. Son intérêt est peut-être plus théorique que pratique. Cette méthode est basée sur

le développement de $Z_0 \tanh \frac{Pl}{2}$ et de $Z_0 \coth \frac{Pl}{2}$, soit en fraction continue indéfinie, soit en série infinie, telles que les termes de la fraction ou de la série puissent être représentés par des groupements simples de résistances, d'inductances, et de capacités.

Nous avons d'abord :

$$\tanh x = \frac{x}{1} + \frac{x^2}{3} + \frac{x^2}{5} + \ldots,$$

$$Z_0 \tanh \frac{Pl}{2} = \frac{Z_0 \frac{Pl}{2}}{1} + \frac{P^2 l^2}{3\,.\,4} + \frac{P^2 l^2}{5\,.\,4} + \ldots$$

$$= \frac{1}{\frac{2}{Z_0 P l}} + \frac{1}{\frac{3.2 Z_0}{P l}} + \frac{1}{\frac{5.2 Z_0}{Z_0 P l}} + \ldots,$$

et ainsi de suite. Mais cette expression représente l'impédance du

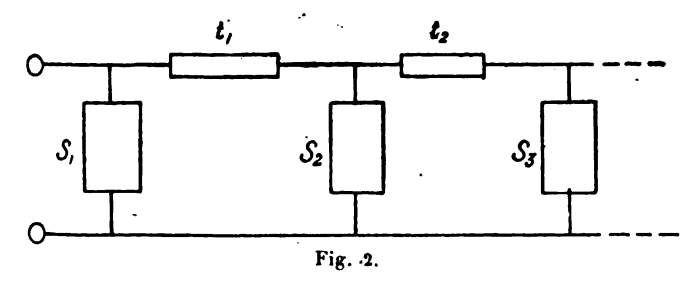


Fig. 2.

circuit représenté sur la figure 2, où l'on a :

$$S_n = \frac{Z_0 P l}{2(4n-3)},$$

$$l_n = \frac{Z_0}{Pl} \,.\, 2(4n-1).$$

Or on a :

$$Z_0 P l = l\,(R + j\,\omega L).$$

Par conséquent $Z_0 P l$ représente une résistance lR en série avec une inductance lL ; de même :

$$\frac{Z_0}{Pl} = \frac{1}{l(S + j\,\omega C)}$$

représente une capacité lC shuntée par une conductance de perte lS

Ainsi $Z_0 \tanh \frac{Pl}{2}$ peut être représenté par le circuit de la figure 3,

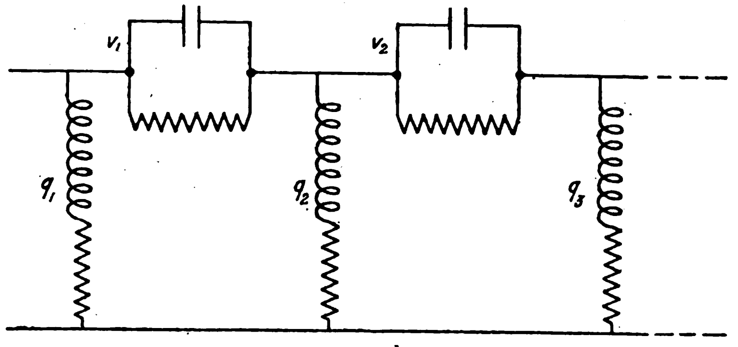


Fig. 3.

la valeur des éléments étant donnée par les équations :

$$\begin{cases} q_n = \dfrac{l}{2(4n-3)}(R + j\omega L), \\ v_n = \dfrac{2(4n-1)}{l(S+j\omega C)}. \end{cases}$$

D'autre part, nous avons :

$$\tanh u = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{8u}{(2n-1)^2\pi^2 + u^2},$$

et :

$$Z_0 \tanh \frac{Pl}{2} = \sum \sqrt{\frac{R+j\omega L}{S+j\omega C}} \cdot \frac{4l\sqrt{R+j\omega L}\sqrt{S+j\omega C}}{(2n-1)^2\pi^2 + l^2(R+j\omega L)(S+j\omega C)} =$$

$$= \sum \frac{1}{\dfrac{(2n-1)^2\pi^2}{4l(R+j\omega L)} + \dfrac{(S+j\omega C)l}{4}}.$$

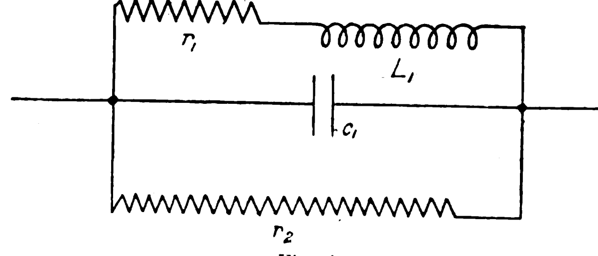


Fig. 4.

Mais l'expression sous le signe Σ est l'impédance du circuit repré-

senté sur la figure 4, les valeurs des éléments étant données par les équations :

$$\left\{\begin{aligned} r_1 &= \frac{4lR}{(2n-1)^2\pi^2}, \\ L_1 &= \frac{4lL}{(2n-1)^2\pi^2}, \\ c_1 &= \frac{l}{4}c, \\ r_2 &= \frac{4}{lS}. \end{aligned}\right.$$

Ainsi $Z_0 \tanh \frac{Pl}{2}$ peut être représentée par une suite infinie de tels groupements connectés en série.

On peut réaliser les autres éléments du circuit de la figure 1

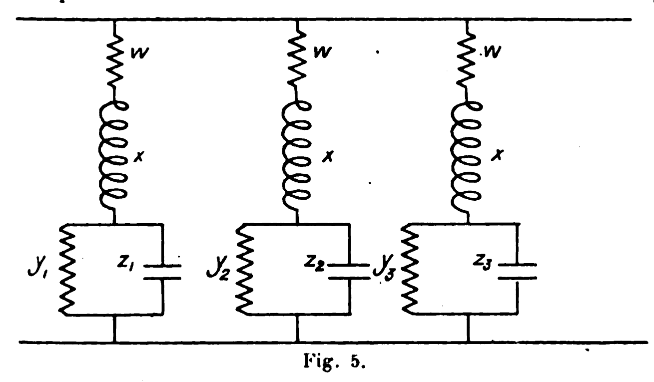


Fig. 5.

en appliquant les calculs ci-dessus à l'admittance au lieu de les appliquer à l'impédance.

En utilisant le développement en série, on trouve que $Z_0 \coth \frac{Pl}{2}$ est équivalent au circuit représenté par la figure 5, la valeur des éléments étant donnée par les équations :

$$\left\{\begin{aligned} w &= \frac{Rl}{4}, \\ x &= \frac{lL}{4}, \\ y_n &= \frac{1}{4lS}(2n-1)^2\pi^2, \\ z_n &= \frac{4lC}{(2n-1)^2\pi^2}. \end{aligned}\right.$$

Si l'on utilise le développement en fraction continue, on trouve

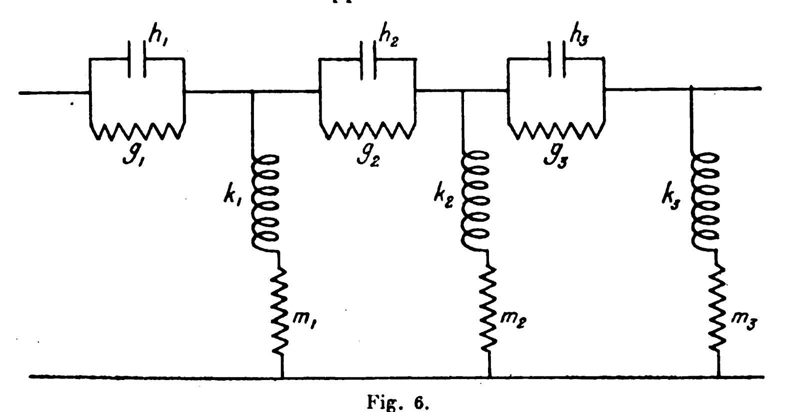


Fig. 6.

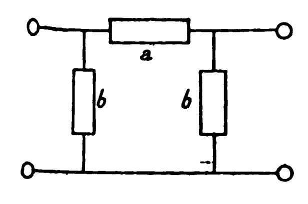
que $Z_0 \coth \frac{Pl}{2}$ est équivalent au circuit de la figure 6, avec les valeurs suivantes des quantités :

$$\left\{ \begin{aligned} h_n &= \frac{lC}{2(4n-3)}, \\ g_n &= \frac{2(4n-3)}{lS}, \\ k_n &= \frac{lL}{2(4n-1)}, \\ m_n &= \frac{Rl}{2(4n-1)}. \end{aligned} \right.$$

Ainsi, tous les éléments du circuit en forme de « pont » représenté sur la figure 1, peuvent être remplacés par une suite d'autres éléments dont les constantes forment des suites convergentes ; ces éléments sont réalisables physiquement, et l'on peut obtenir l'approximation souhaitée, quelle qu'elle soit, en prenant un nombre de termes suffisant.

Nous n'avons pas réussi à obtenir des développements analogues pour les impédances $\frac{Z_0}{\sinh Pl}$ et $Z_0 \sinh Pl$, qu'on rencontre dans les types de lignes artificielles en II et en T (fig. 7). A ce propos, il est intéressant de noter que $Z_0 \tanh \frac{Pl}{2}$ et $Z_0 \coth \frac{Pl}{2}$ ont des significations physiques précises, puisque ces quantités sont les impé-

dances d'une ligne de longueur $\frac{l}{2}$ suivant qu'elle est shuntée ou ouverte à son extrémité. Au contraire, $Z_0 \sinh Pl$ et $\frac{Z_0}{\sinh Pl}$ n'on pas de significations analogues.



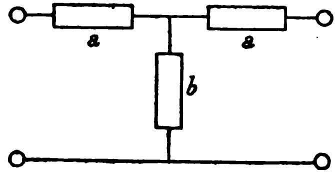


Fig. 7.

Éléments en forme de Π.

$a = Z_0 \sinh Pl,$

$b = Z_0 \coth \frac{Pl}{2}.$

Éléments en forme de T.

$a = Z_0 \tanh \frac{Pl}{2},$

$b = \frac{Z_0}{\sinh Pl}.$

Note ajoutée ultérieurement. — Le développement

$$\coth x = \frac{1}{x} + \Sigma \frac{2x}{x^2 + n^2\pi^2}$$

peut aussi être utilisé, et donne des circuits ayant la même dispos tion générale pour représenter :

$$Z_0 \coth \frac{Pl}{2} \quad \text{et} \quad Z_0 \tanh \frac{Pl}{2}.$$

Ainsi, $Z_0 \coth \frac{Pl}{2}$ et $Z_0 \tanh \frac{Pl}{2}$ peuvent tous deux être développés, soit sous la forme d'un réseau en échelle, soit sous celle d'une suite infinie d'impédances connectées en parallèle, soit sous celle d'une suite infinie d'impédances connectées en série.

Pour accélérer l'accroissement du courant dans un circuit inductif (*Elektr. u. Maschinenbau* : 10 août 1924 ; *Science Abstracts* : 25 novembre 1924). — Lorsqu'on se sert d'appareils télégraphiques, de relais, ou d'autres dispositifs, on a souvent besoin que le courant produit par une tension constante atteigne sa valeur définitive le plus rapidement possible. En augmentant la résistance ohmique, on abaisse la constante de temps; mais, pour

que le courant reste le même, il faut également augmenter la tension appliquée. On obvie à cet inconvénient en recourant au montage que représente la figure, et dont le transformateur T est la principale caractéristique. A représente l'appareil où il s'agit d'accélérer l'accroissement du courant. Lorsqu'on ferme l'interrupteur S, le courant i bifurque en a. Les enroulements de T sont tels que les ampères-tours $i_2\ w_2$ sont plus grands que $i_1\ w_1$ et en opposition avec

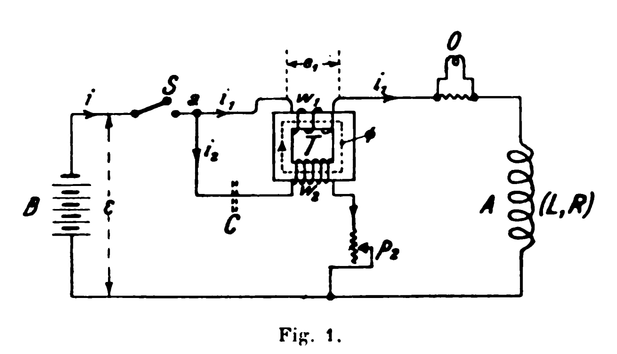


Fig. 1.

eux. Lorsque le courant augmente, T engendre une force électromotrice supplémentaire e_1, de même sens que celle de la batterie ; la vitesse d'accroissement du courant s'en trouve donc accélérée. Lorsque le courant atteint sa valeur définitive, la force électromotrice supplémentaire tend vers zéro. Pour que le courant ne puisse circuler indéfiniment dans w_2, on a intercalé sur son passage le condensateur C, représenté en pointillé sur la figure. O représente un oscillographe, dont M. C. Schenfer s'est servi pour obtenir les oscillogrammes qui illustrent son article; ces derniers permettent de se rendre parfaitement compte de l'efficacité du dispositif. Lorsqu'on relève l'interrupteur S, un courant négatif circule à travers A ; dans le cas d'une ligne télégraphique, l'effet se traduit simplement par une diminution sensible et très avantageuse du temps que le courant met pour tomber à zéro. L'article de M. Schenfer comprend une étude mathématique du nouveau dispositif qu'il préconise.

Emploi du tétrachlorure de carbone pour combattre

les incendies dans les centraux téléphoniques (*Telegr. u. Fernsprech-Technik* : nov. 1924, d'après un article publié dans *Telegr.-Praxis* : 3e année, page 129). — D'une série d'expériences faites en vue de s'assurer si le tétrachlorure de carbone et les produits résultant de sa décomposition par la chaleur sont dangereux pour les personnes qui manœuvrent les extincteurs il résulte :

1° que le tétrachlorure de carbone ne doit pas être regardé comme un liquide extincteur *universel* mais seulement comme un produit utilisable dans certains cas déterminés, notamment pour combattre les commencements d'incendie dans les installations électriques ;

2° qu'il présente du danger : *a*) lorsqu'on s'en sert pour éteindre de l'alcool, du bois, etc... en ignition ; *b*) lorsque l'incendie s'est déclaré dans des locaux exigus et clos ; *c*) lorsque le tétrachlorure est employé en trop grande quantité.

Pour éviter que son personnel emploie mal à propos les extincteurs au tétrachlorure de carbone, l'administration allemande des télégraphes a décidé que ces appareils porteraient, en caractères très apparents, la mention suivante : « Extincteurs spéciaux, à utiliser pour combattre les incendies dans les installations téléphoniques et télégraphiques. Ne pas s'en servir dans les caves, ni dans les locaux exigus et fermés. » Seraient à retirer du service les extincteurs du type « grenade » qui existent encore dans la plupart des salles des centraux téléphoniques, parce que le liquide qu'ils renferment (solution de bicarbonate de soude et de carbonate de potasse) est impropre à l'extinction des incendies qui se déclarent parfois dans les multiples téléphoniques.

Jahrbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie (Vol. 25 (1925), n° 1). — Cette publication est la plus ancienne revue traitant de la télégraphie et de la téléphonie sans fil. Fondée en 1907, elle vient de faire paraître le n° 1 du 25e volume.

Aussi bien en Allemagne que dans les autres pays, le *Jahrbuch* a retenu l'attention de tous les spécialistes, grâce aux articles remarquables publiés jusqu'à ce jour ; il est édité par M. Nesper, en collaboration avec MM. Max Wien (de Iéna) et Zenneck (de Munich).

Le numéro jubilaire contient les articles suivants :

von ARCO, *La compétition actuelle entre les tubes à vide et les machines électriques.*

S. REITER, *Sur un diagramme circulaire de la tension aux bornes et des courants, dans le cas d'une capacité variable en parallèle.*

A. SCHEIBE, *Sur un thermomètre à air à fil thermique très sensible servant à mesurer l'énergie oscillatoire des ondes électriques de petite longueur.*

F. KIEBITZ, *Résultats expérimentaux acquis dans la production des ondes courtes. (Communication du Service d'études de l'administration allemande des télégraphes.)*

O. EMERSLEBEN, *Rapport sur certaines questions de la technique à haute fréquence*, présenté à la 88e assemblée de la Société des physiciens et médecins allemands.

A. HAMM, *Isolateurs en papier durci ou en porcelaine ?*

G. ZICKNER, *Un condensateur différentiel pour réglages très précis.*

E. BRAEUER, *Combien de conversations peut-on échanger simultanément en téléphonie sans fil ?*

Comptes rendus de travaux, revue des périodiques, et brevets d'invention.

Théorie de la détermination des fréquences très élevées au moyen d'ondes stationnaires sur des fils (August HUND, dans *Scientific Papers of the Bureau of Standards* : n° 491, 23 juin 1924). — Le Bureau of Standards de Washington a entrepris de mesurer les fréquences employées en radiotélégraphie au moyen de plusieurs méthodes se contrôlant les unes les autres. Dans l'une de ces méthodes, mise en œuvre par MM. Dunmore et Engel, un émetteur, constitué par une lampe de 50 watts, émettait des ondes d'une fréquence de 3×10^7 cycles par seconde environ (10 mètres de longueur d'onde). Il était couplé avec deux fils parallèles, isolés à l'extrémité opposée, sur lesquels glissait un pont comprenant un ampèremètre. Les maxima de cet instrument déce-

laient la position des ventres de courant ; la distance entre deux maxima consécutifs était donc égale à la moitié de la longueur d'onde émise approximativement. M. Hund cherche à évaluer cette approximation. Substituant, dans les équations ordinaires de la propagation, des expressions de R, de L et de C valables en haute fréquence, il trouve que la méthode employée sans corrections donne déjà la longueur d'onde avec la précision du millième, et il donne l'expression, en fonction des dimensions de l'appareil, du facteur de correction à employer dans les étalonnages de haute précision.

Mesure de l'efficacité de transmission des appareils d'abonnés (*Post office Electr. Engin. Journal* : juillet 1924 ; *Science Abstracts* : 25 nov. 1924). — On mesure l'efficacité de transmission des microphones avant de les accepter ; mais ensuite, sauf en cas de réclamation, ils ne sont plus soumis à aucun essai. Or la détérioration possible d'un microphone, de même qu'une manière défectueuse de s'en servir, peuvent avoir des conséquences fâcheuses au point de vue de l'efficacité du service en général. Jusqu'ici, on ne disposait d'aucun moyen de s'assurer de l'une ou de l'autre de ces défectuosités.

Le Service des recherches de l'office britannique a imaginé une méthode qui permet de mesurer, à l'insu de l'abonné et à partir du central qui dessert son poste, la tension maximum moyenne appliquée à la ligne téléphonique au cours d'une conversation. Cette tension est ensuite comparée à celle qui est engendrée par une personne causant normalement devant un microphone étalon. Les lectures se font sur un appareil approprié, comprenant un voltmètre Weston n° 1.

Aux bornes de sortie, on établit une dérivation, qui aboutit à un transformateur d'entrée à deux enroulements, dont l'un amplifie la tension de départ, laquelle passe ensuite dans un redresseur à lampe. On mesure les variations du courant de plaque dans la deuxième lampe. L'instrument de mesures est compensé, pour tenir compte du courant permanent de plaque.

La tension du second enroulement du transformateur est amplifiée, redressée, et appliquée à un relais télégraphique polarisé

qui ne fonctionne que lorsqu'il est excité par le courant de conversation, pratiquement le plus faible possible. Lorsque le relais fonctionne, il ferme le circuit de grille (leak circuit) de la seconde lampe du circuit de mesure, et le courant se trouve redressé.

On a constaté que, pour une conversation téléphonique ordinaire, on obtient une lecture pratiquement uniforme. La tolérance admise à la transmission peut se lire à 1 mile de câble standard près ; on a reconnu la possibilité d'enregistrer les tolérances pour chacun des deux abonnés en conversation sur une ligne urbaine à condition que la conversation ne soit pas trop décousue et que les volumes de voix des abonnés ne diffèrent pas trop l'un de l'autre.

MM. Aldridge et Hudson, auteurs de l'article, indiquent comment on peut se servir du dispositif pour effectuer rapidement les mesures courantes de l'efficacité de transmission des microphones, et même d'autres mesures. Un schéma et une série de courbes d'étalonnage illustrent l'article.

Fabrication en série des appareils téléphoniques (*The Electrician* : 28 novembre 1924). — Essentiellement, le téléphone n'a guère changé depuis l'époque où il a été inventé jusqu'aujourd'hui ; parmi tous les organes des installations électriques, c'est peut-être celui qui a subi le moins de transformations. Pour mieux nous faire comprendre, prenons, comme exemples de la tendance contraire, la dynamo et la lampe à incandescence. Quiconque compare les anciennes machines Siemens ou Paccinotti, ou encore les premières lampes Swan, aux génératrices et lampes que nous utilisons actuellement, ne peut qu'être frappé des différences énormes (différences de principes) qui existent entre les unes et les autres. Pour le téléphone, le cas est tout autre : les microphones et récepteurs dont on se sert aujourd'hui ressemblent beaucoup aux appareils inventés par Reiss et Hughes. Mais il est un changement important et très intéressant qu'il faut signaler ; nous voulons parler des installations modernes où l'on fabrique en série le matériel téléphonique. A ce point de vue, il est intéressant de montrer les progrès réalisés dans les grandes usines où une compagnie bien connue fabrique les « casques téléphoniques » utilisés en T.S.F.

Pour que ces appareils remplissent les conditions requises, il faut qu'ils reproduisent fidèlement les sons et sans la moindre distorsion. A ce point de vue, les récepteurs serre-tête accusent un progrès très marqué par rapport aux appareils de ce genre construits avant la guerre : leur sensibilité est remarquable, et ils reproduisent les sons à la perfection. Il est intéressant de noter, en passant, que l'expérience dont on a si bien su tirer parti dans ces usines a été acquise pendant les hostilités dans une usine voisine où l'on construisait des appels magnétiques (magnétos). La caractéristique de la fabrication est la suivante : on pratique la fabrication en série tout en vérifiant minutieusement la qualité de la production. En effet, les casques téléphoniques sont non seulement des instruments scientifiques, mais encore des articles standardisés, demandés dans le monde entier.

Toutes les opérations ont été réglées, de telle façon qu'on peut, tout en régularisant le débit, obtenir un rendement maximum et procéder à une vérification soignée des produits aux différentes étapes de la fabrication des pièces et de leur assemblage. Celui-ci s'effectue mécaniquement par des opérations de poinçonnage et de moulage : pas de vis, pas de boutons saillants, pas d'écrous de fixation; la boite sonore forme un tout en métal non-résonnant : l'électro-aimant et les pièces polaires y sont noyés, grâce à un procédé de moulage spécial, réalisé à l'aide d'une presse hydraulique à vapeur.

Le boîtier est formé d'une composition moulée ayant l'aspect du chocolat et facile à polir ; sa teinte s'accorde très bien avec celle des courroies. Cette composition est très résistante, mécaniquement parlant ; le pavillon est fait de cette même matière ; le diaphragme est en stalloy. Il convient de remarquer que le diaphragme est serré, sans le secours d'une rondelle, entre le boîtier et le pavillon; on peut attribuer à cette disposition la qualité acoustique des sons reproduits.

Les aimants, fabriqués à la presse, sont en acier au cobalt, dont les propriétés magnétiques sont remarquables. On a opté pour l'acier au cobalt à la suite d'une série d'expériences portant sur des aciers différents, et en profitant des résultats pratiques obtenus en

l'utilisant pour construire les électro-aimants pour appels magnétiques. Les pièces polaires sont obtenues à l'aide d'une pièce passée à la presse et coupée pour former deux parties semblables ; celles-ci sont réunies entre elles à la presse et, par le même procédé, à l'aimant permanent.

Les bobines des électros sont construites de façon qu'il y ait le maximum de spires compatible avec l'espace disponible. La carcasse est très mince, et ainsi les bobines sont très voisines des pièces polaires. Les enroulements sont en fil de cuivre émaillé, dont la conductibilité est très grande ; toutefois, la couche extérieure est en fil d'un plus fort diamètre, afin d'assurer de bonnes connexions. Les cordons sont fixés en permanence aux connexions intérieures. Inutile de rappeler ici que tous les organes des appareils sont vérifiés électriquement et mécaniquement au cours des différentes opérations d'usinage et de montage. Toutes les mesures sont prises pour que l'appareil terminé soit satisfaisant à tous les égards.

Les ateliers sont compris de manière à réduire les manipulations au minimum ; celles-ci s'effectuent dans des conditions de confort vraiment remarquables. Cette remarque s'applique plus particulièrement aux ateliers d'assemblage, qui occupent une pièce immense située au dernier étage du bâtiment. Dans cette pièce, on voit des tables très commodes aménagées spécialement pour les ouvrières ; un éclairage parfait est procuré par de larges baies vitrées pratiquées dans la toiture, et, là où la nécessité s'en fait sentir, par des ouvertures aménagées juste au dessus des tables de manipulation.

Chacune des ouvrières est revêtue d'une blouse bleue, et, pendant les heures de travail, il y a des auditions musicales. Le côté psychologique n'a donc pas été négligé ! En outre, les ouvrières sont divisées en cinq équipes, qui procèdent au montage des casques téléphoniques en rivalisant d'émulation, chaque équipe essayant de battre les autres sur le terrain de la production quotidienne et hebdomadaire. Ceci améliore considérablement le rendement de la main-d'œuvre et permet aussi de voir rapidement pour quelle raison la production vient à baisser.

Périodiques américains. — *Telephone Review.* February 1925. — De nombreux journaux professionnels sont publiés aux États-Unis par les divers groupements du système Bell, dans le but de faire connaître les mutations survenues dans le personnel et d'entretenir la bonne disposition d'esprit de tous les employés qui concourent à cette grande œuvre du service téléphonique. Ils sont souvent fort luxueusement édités. Nous croyons bien faire en décrivant sommairement le n° 2 de 1925 de l'un de ces périodiques mensuels, à savoir de la *Telephone Review.*

Ce numéro a 20 pages ; il est imprimé sur papier couché ; il est orné de 124 gravures en simili. La gravure de la couverture est en deux couleurs : elle représente une jeune fille qui téléphone en disant : « Jean ne répond pas ? Donnez-moi Henri, s'il vous plaît. » Ensuite, nous lisons une poésie en l'honneur de Washington ; la dernière gravure représente le monument à la mémoire de Lincoln, qu'une petite fille, prise dans un instantané par une dame du téléphone, est en train d'admirer. Voilà pour le sentiment patriotique.

Le premier article est consacré à l'élection de W. S. Gifford à la tête de l'American Telephone and Telegraph Company, pendant que M. Thayer devient président du Directorat. M. W. S. Gifford est président ; M. H. B. Thayer, chairman. M. W. S. Gifford débuta comme employé, payé 10 dollars par semaine, et il est maintenant appelé au sommet d'une corporation de deux milliards de dollars. La carrière du nouveau président est retracée, et c'est là un puissant encouragement pour les jeunes gens qui se sentent quelque valeur. Il y a là d'ailleurs quelques savoureuses anecdotes.

Ensuite, on décrit la construction d'un nouveau central. — Il y a l'histoire d'un duel entre le givre et le service des réparations, avec la victoire de ce dernier. — M. James W. Stearns, l'un des pionniers du téléphone, raconte ses cinquante années de service à la construction des lignes : un bel exemple de vue perspicace de l'avenir réservé au téléphone, et d'énergie. — Nous trouvons encore diverses notices biographiques, qui montrent que, pour l'administration américaine, les hommes ne sont pas de vagues unités, mais que chaque individu conserve sa personnalité propre.

Vient ensuite une histoire du secours apporté à deux abonnés du

téléphone grâce à la diligence de deux téléphonistes qui, recevant le simple appel de détresse, ont eu la présence d'esprit de faire déterminer immédiatement le nom et le domicile de la personne mourante, et d'appeler le fils ou le docteur et de prévenir une institution d'assistance, provoquant ainsi une prompte intervention qui, dans les deux cas, sauva la vie de l'abonné.

Passons sur des variétés intéressantes ou amusantes sans grande portée. Mais voici, juste au milieu du numéro, une double page bien caractéristique : c'est la *page du sourire*, où vingt figures sont représentées, chacune avec le sourire ; et ces gens qui ont le sourire, qui sont-ils ? Je lis au hasard : un ingénieur, un employé du département du trafic, un plant-man, etc... Heureuse compagnie, où chacun conserve la santé morale de la bonne humeur!

Ensuite, nous voyons des sports d'hiver pratiqués par des employés; un appel pour procurer des livres à une bibliothèque; des vues de merveilleux paysages américains; une notice sur le développement du Bell system ; un jeu d'esprit pour récréation ; l'inauguration du bureau Louisiana à Brooklyn, avec une salle de repos d'un goût exquis ; puis des règles à suivre pour le service des dérangements de ligne, et des exemples remarquables concernant la recherche d'un défaut sur un câble ; ensuite les fêtes de Noël ; enfin une liste de décédés. — Le reste des pages est consacré à des photographies de groupes, prises à l'occasion de divers anniversaires ou de solennités locales. — Dans une page humoristique, je relève l'énigme suivante : Qu'est-ce que c'est ? — Qu'est-ce qui me donne la nourriture, le vêtement, le logement, tout ce dont j'ai besoin ? Qu'est-ce que je néglige parfois avec de vilains reproches? Quelle est la chose dont on n'apprécie la valeur que si on la perd ? Qu'est-ce qui me permet de courir ma chance, ma chance de m'élever et de tirer de moi un autre moi meilleur ? Qu'est-ce que c'est ? — My job ! (mon occupation, ma tâche). — Des journaux de ce genre ne peuvent que contribuer à entretenir dans le personnel l'esprit de corps dans ce qu'il a de plus sain et de plus recommandable.

Les propriétés électriques de la bakelite (*L'Industrie électrique*, 10 janvier 1925, d'après *Elektrotechnik und Maschi-*

nenbau). — O. Mannel a étudié les propriétés électriques de la bakelite, substance isolante qui a été étudiée par Bakeland et dont l'emploi s'est rapidement répandu dans l'électrotechnique. La bakelite est un produit de condensation du phénol et de la formaldéhyde, qui se combinent en présence de substances de contact principalement basiques. On obtient un liquide poisseux, la *bakelite A* avec dégagement d'eau. On recouvre du papier avec de la bakelite A et on le comprime entre des plaques chauffées à haute température ou dans un laminoir, et on obtient des plaques ou des cylindres de papier durci. Cette substance est ensuite chauffée sous pression, et il se forme une nouvelle combinaison, la *bakelite B*, qui a une plus grande rigidité électrique, en même temps qu'il se dégage de l'eau. En continuant à chauffer, on obtient la *bakelite C*. La bakelite A est soluble dans l'alcool, la bakelite B se gonfle dans l'alcool et l'acétone, et la bakelite C est insoluble et infusible, résiste à tous les acides à l'exception des acides sulfurique et azotique concentrés bouillants ; jusqu'à 300°, elle ne se ramollit pas, et se carbonise quand la température augmente.

Les essais ont porté sur des échantillons fournis par la société de fabrication de la bakelite de Erkner, près de Berlin.

Nombre d'heures de traitement à 105°.	Constante diélectrique	Résistivité en ohms par cmq et cm.	Tension de percussion en kV par cm.
0 (séchée à l'air)..	10,5	$7,2 \times 10^{14}$	1450
0,5.............	3,8	$2,7 \times 10^{13}$	1700
1	3,8	$4,3 \times 10^{14}$	1950
1,5.............	3,8		2000
2	4,0	$2,0 \times 10^{15}$	2100
3	43,8	$2,0 \times 10^{15}$	3100
4	4,9	$2,0 \times 10^{15}$	3520
6	5,5	$2,0 \times 10^{15}$	2520

On a soumis aux essais ou bien des plaques de laiton aussi planes que possible ou bien des tubes de laiton tournés, plongés deux fois dans de la bakelite A ou recouverts d'une couche de cette matière et bakelisés sous pression, au commencement à des températures de 50° à 80° et finalement à des températures de 120° à 150°.

Pour la détermination de la constante diélectrique, un tube

entouré d'une couche de bakelite était disposé dans un récipient de plus grand diamètre, et de la paraffine en fusion était versée à la partie inférieure.

Le vide annulaire autour du tube était rempli en partie de mercure ; le tube formait une des armatures du condensateur et le mercure l'autre. Pour des couches de bakelite de $0^{mm},075$ à $0^{mm},125$, on a constaté la même constante diélectrique, environ 5,4 pour le courant continu et le courant alternatif (fréquence 50) ; l'angle de retard pour le courant alternatif était en moyenne de $5^{o},4$. La conductibilité a été déterminée avec le même dispositif. Comme le galvanomètre n'avait pas une sensibilité suffisante on l'a remplacé par un condensateur au mica, qui, après un temps donné, était déchargé à travers un galvanomètre balistique. Après déduction du courant ayant traversé la paraffine, on a obtenu en moyenne une résistivité de 2×10^{15} ohms par centimètre carré de surface et centimètre de longueur. On a obtenu la même valeur moyenne, en considérant la perte de charge du condensateur.

La résistance à la percussion a été déterminée de deux manières différentes : une fois directement et l'autre indirectement par une méthode indiquée par Hayden et Steinmetz. Pour des couches de bakelite de $0^{mm},05$ à $0^{mm},07$ d'épaisseur, la tension de percussion est de 1.400.000 volts par centimètre. Aussi bien pour des épaisseurs plus grandes que pour des épaisseurs plus faibles, la tension de percussion par centimètre est un peu plus faible, dans le premier cas par suite de l'irrégularité de la couche, dans le second à cause du dégagement de la chaleur.

L'influence de la température sur les propriétés électriques de la bakelite a été étudiée en employant des plaques planes, à cause de certaines difficultés. Sur une grille chauffante électrique, on disposait une plaque d'amiante, une plaque de laiton d'environ 5 mm d'épaisseur, l'électrode de laiton recouverte d'un seul côté d'une couche de bakelite, une feuille d'aluminium de 4×4 cm. une couche de feutre et une pièce de bois. La température était mesurée au moyen d'un thermoélément, directement sur la surface de la couche de bakelite.

La capacité augmente à peu près proportionnellement à la tempé-

rature ; la conductibilité et l'angle de retard augmentent rapidement à partir d'une certaine température critique. La température critique est d'environ 35° pour la bakelite B, et de 80° environ pour la bakelite C. La résistance à la percussion avait baissé de 14 à 19 pour 100 à 105° et de 40 à 50 pour 100 à 204°.

La durée du traitement thermique influe sur les propriétés électriques de la bakelite ; les valeurs les plus favorables sont obtenues avec un traitement de 3 à 4 heures. Les meilleurs résultats sont cependant obtenus avec la bakelite C, polymérisée, sans arrêt, à cause de sa haute température critique. On a obtenu, par exemple, les chiffres du tableau de la page 401.

INFORMATIONS ET VARIÉTÉS.

La télégraphie sans fil en Norvège. — La nouvelle grande station de Fornebo est terminée. Les essais officiels ont commencé le 16 février avec un plein succès et, dans peu de temps, l'exploitation régulière commencera.

Ce poste, de construction française, est absolument moderne et peut rivaliser à tous les points de vue avec les meilleures stations du monde. Il enregistre avec une absolue régularité, de jour comme de nuit, les radios émanant de tous les points du globe et spécialement de Buenos-Aires, Honolulu, Java, Tananarive, Saïgon, pour ne citer que les principaux.

La station de Fornebo est destinée à assurer le trafic qui passe actuellement par Stavanger.

Troisième session de la conférence internationale des grands réseaux à haute tension. — Les dates définitives des séances de la prochaine session viennent d'être arrêtées comme il suit par le bureau de la conférence :

séance d'ouverture : mardi 16 juin, à 16 heures ;
séances de travail : mercredi 17, jeudi 18, vendredi 19 juin ;
repos et éventuellement excursions : samedi 20 et dimanche 21 juin ;
séances de travail : lundi 22, mardi 23 et mercredi 24 juin ;
séance de clôture : jeudi 25 juin, à 10 heures du matin.

Il est rappelé que la conférence a pour objet d'étudier *tous les problèmes qui concernent la construction et l'exploitation des grands réseaux de transport d'énergie électrique à haute tension*, et que ces études sont réparties entre trois sections :

1re section : Production de l'énergie ;
2e » : Construction des lignes ;
3e » : Exploitation des réseaux.

La conférence n'a fixé ni limite inférieure, ni limite supérieure

aux tensions dont elle entend s'occuper, et son programme, fixé par elle-même, est le même qu'en 1921 et 1923.

La conférence vient d'enregistrer l'adhésion de trois nouveaux pays qui ne s'étaient pas fait inscrire jusqu'ici : la Roumanie, les Indes, et l'Australie, ce qui porte à 23 le nombre des pays adhérents.

Le registre des inscriptions à la conférence est ouvert depuis le 1er janvier dernier.

Le secrétariat général de la conférence 25, boulevard Malesherbes, à Paris, enverra à première demande tous les renseignements nécessaires, et en particulier une notice détaillée sur la session.

Timbres-poste italiens. — Un décret royal n° 1813 du 23 octobre 1924, publié dans la *Gazzetta Ufficiale* n° 273 du 22 novembre 1924, vu la demande par laquelle le Comitato per l'Anno Santo e l'Esposizione missionaria du Vatican sollicite l'émission, à ses propres frais, de timbres spéciaux commémoratifs à l'occasion de la célébration de l'Année Sainte, frappés d'une taxe supplémentaire en faveur du Comité lui-même, autorise l'émission de timbres commémoratifs spéciaux pour l'affranchissement de la correspondance intérieure au royaume d'Italie.

Un décret semblable autorise aussi l'émission de timbres spéciaux commémoratifs à l'occasion du centenaire de la mort de saint François d'Assise.

BIBLIOGRAPHIE.

La T.S.F. pour tous, revue mensuelle. Paris, Étienne Chiron, éditeur. Abonnement annuel : France : 20 francs ; étranger : 28 francs.

Cette revue, qui a commencé à paraître le 1er janvier dernier, est destinée aux amateurs, même dénués de toute connaissance préalable en T.S.F. : elle les guidera pas à pas dans l'exécution de leurs travaux. Elle donnera chaque mois les plans d'exécution d'un appareil récepteur, avec tous les détails nécessaires à la construction facile de ce poste par l'amateur le moins expérimenté.

Cent problèmes pratiques de T.S.F., par P. Hémardinquer. Paris, Masson et Cie, 1924. — 1 vol. petit in-16 de 162 pages, avec 100 figures. Prix : 6 francs.

Il existe un nombre important de manuels de T.S.F. excellents destinés aux amateurs. Ils décrivent les appareils, indiquent leur fonctionnement, quelquefois même traitent de questions moins générales mais utiles : notions de calcul ou de mesure des éléments d'un poste, problème du choix de ce poste ; tours de main nécessaires pour sa construction. Mais des conditions locales prépondérantes, ou un manque de pratique empêchant de rattacher le phénomène considéré à une classe de phénomènes déjà connus, et l'armateur restera quelquefois désorienté.

Que faire dans ce cas, sinon consulter un spécialiste ou poser une question au service radiotechnique de son journal, en attendant patiemment la réponse ?

C'est pour obvier à cet inconvénient, éviter ces démarches, ces correspondances et ces frais inutiles, gagner du temps, que M. Hémardinquer, dont les lecteurs de *La Nature* ont apprécié souvent la grande expérience radiotechnique, publie ce petit livre.

Cent questions au nombre desquelles se trouvent fatalement celles

qui se poseront à vous un jour ou l'autre ; cent réponses précises, avec des illustrations très claires, forment la matière de ce petit livre.

Parmi les sujets variés traités dans ce livre, citons entre autres :

Les cadres. — Amplificateurs. — Choix d'un poste. — Précautions à prendre pour l'établissement d'une antenne. — Isolement, etc.

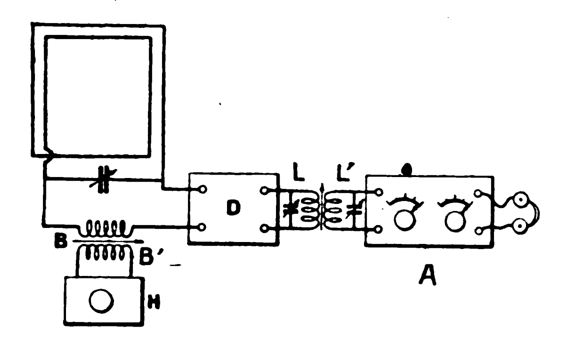
Appareils d'accord. — Avantages propres à différentes bobines. — Postes à galène, etc.

Amplificateurs. — Réglages. — Différents systèmes de réception. Dispositifs spéciaux. — Les Accessoires du poste ; Accumulateurs, Appareils de mesure, Calculs et Mesures. — Questions diverses. — Dérangements du poste de réception.

A titre d'exemple, nous donnons ici l'un des cent problèmes :

Problème 55. — *Comment monter un dispositif super-hétérodyne pour la réception sur cadre en utilisant un amplificateur à résistances à quatre lampes à haute fréquence déjà construit par un amateur ?*

La figure ci-contre donne le schéma de principe de l'ensemble du



dispositif. Le cadre accordé par un condensateur variable de 0 μF, 001 ou par un variomètre, est relié au détecteur D. Dans le circuit condensateur d'accord-détecteur est intercalée une bobine de couplage B, comportant quelques spires, et couplée, à couplage serré, avec la bobine exploratrice B' de l'hétérodyne pour ondes courtes H, ou avec les self-inductances mêmes de l'hétérodyne.

Dans le circuit de plaque de la lampe détectrice est intercalé un circuit oscillant, composé d'une inductance en nid d'abeilles ou genre « Corona » L et d'un condensateur variable de 0 μF, 001. La longueur d'onde propre de ce circuit doit être d'environ 4.000 mètres, pour utiliser un amplificateur à résistances ordinaire (bobines de 57.250 microhenrys) [1].

Le premier circuit oscillant agira par induction sur un autre identique relié aux bornes d'entrée de l'amplificateur ordinaire à résistances A.

Théorie dynamique des gaz, par J.-H. Jeans, traduit sur la troisième édition anglaise par A. Clerc, ingénieur diplômé de l'École supérieure d'électricité de Paris et de l'École polytechnique de Zurich. Paris, Librairie scientifique Albert Blanchard, 1925. Prix : 50 francs.

L'édition anglaise de Jeans est bien connue de tous ceux qui s'intéressent à la théorie cinétique des gaz, car c'est aujourd'hui une nécessité pour tous les physiciens de connaître les langues étrangères, l'anglais, l'allemand, l'italien, au moins suffisamment pour lire les mémoires scientifiques originaux. Il faut cependant avouer que les traductions sont les bienvenues, même pour ceux qui, à la rigueur, pourraient s'en passer, lorsqu'elles sont faites avec compétence et avec soin, comme celle que nous présente aujourd'hui M. A. Clerc. L'ouvrage de J.-H. Jeans a toute la clarté qu'on attend des auteurs anglais, il éclaire souvent les travaux de Boltzmann, de Meyer et ceux de Gibbs. Les problèmes fondamentaux de la théorie cinétique sont traités avec rigueur ; mais de plus, les derniers chapitres constituent une précieuse initiation à la théorie des quanta.

Les *Annales des Postes et Télégraphes* ne peuvent se dispenser de signaler à leurs lecteurs ce traité, parce qu'il est de nature à intéresser tout particulièrement les électriciens. Déjà ils pouvaient trouver dans le Précis d'Optique, publié d'après l'ouvrage de Paul Drude et refondu et complété par Marcel Boll, professeur agrégé de l'Université, avec M. Langevin pour guide, l'exposé des disciplines nouvelles qui sont nées de la théorie électromagnétique de la lumière (principe de Huygens et potentiel retardé, phénomènes

(1) Cette valeur est évidemment donnée seulement à titre d'indication.

électro et magnéto-optiques, optique des corps en mouvement, énergie rayonnante, répartition de l'énergie dans le spectre du corps noir, théorie de Planck). On part de la théorie électromagnétique, mais on arrive en fin de compte à étudier le mouvement des électrons et à l'introduction des quanta. Dans le traité de Jeans, le point d'aboutissement est le même, mais on part des mouvements moléculaires.

Rappelons quelques faits bien connus, montrant l'utilité, pour l'électricien, de la théorie cinétique des gaz.

La viscosité intervient dans l'explication de l'amortissement d'un équipage galvanométrique.

La conductibilité gazeuse due à la présence des ions implique la connaissance des principes de la théorie des gaz, de la définition des coefficients de diffusion, par exemple.

Mais, pour en revenir au livre dont nous parlons, on ne s'étonnera donc pas que le chapitre XII de Jeans traite en particulier de la conduction d'électricité dans les solides et reproduit la théorie de Drude, avec les lois de Wiedemann-Franz et de Lorenz. Le chapitre XVIII revient sur les difficultés rencontrées et fait intervenir la théorie des quanta.

L'explication du magnétisme des gaz donnée par Langevin est une application des méthodes de la théorie cinétique.

La pression de radiation peut être rattachée tantôt à la théorie dynamique des gaz, tantôt à la théorie électromagnétique.

Mais le plus remarquable point de contact entre les deux théories, c'est le rayonnement ; l'étude des chaleurs spécifiques amène Planck à imaginer les quanta et à établir la formule pour le rayonnement du corps noir (p. 429 de Jeans). La théorie de Bohr et celle des raies spectrales (p. 442 de Jeans) nous fait passer de la théorie des gaz à l'optique ; mais alors, ce sont des charges électriques qui se meuvent sur des orbites et ces phénomènes, dont on recherche les lois, sont intimement reliés à la mécanique des électrons.

Les domaines de la théorie dynamique des gaz et de l'électricité ont donc de nombreux points de communication ; c'est pourquoi tous ceux qui s'intéressent à la science de l'électricité seront heureux d'avoir à leur disposition la traduction si recommandable du célèbre ouvrage de J.-H. Jeans. J.-B. P..



BREVETS D'INVENTION (1).

563.532. — Ensemble émetteur-récepteur d'appareils sélectifs. — M. André Sthégens. — France.

563.544. — Perfectionnement dans la construction des filtres électriques pour oscillations de haute fréquence. — Société française radioélectrique. — France.

Le perfectionuement consiste à assurer une liaison purement inductive entre les différents circuits résonnants élémentaires, en particulier par l'établissement d'une connexion équipotentielle commune aux enroulements de l'appareil, la mise à la terre de cette connexion, l'espacement des spires croissant avec la différence de potentiel entre ces spires.

563.567. — Grille spéciale pour tubes à vide à trois électrodes du genre « audion ». — M. François Péri. — France.

563.585. — Dispositif de synchronisation des pendules par lignes téléphoniques. — Société anonyme des Établissements Brillié frères. — France.

563.606. — Perfectionnements dans la régulation de vitesse des groupes à haute fréquence pour télégraphie sans fil. — M. Marius Latour. — France.

563.622. — Perfectionnements aux appareils enregistreurs d'appels téléphoniques ou relatifs à ces appareils. — M. David Solomon Ellis. — Australie.

563.632. — Système de résistances pour circuit de grille et de plaque, de condensateurs de liaison et de transformateurs haute et basse tension pour appareils amplificateurs à lampes de télégraphie et téléphonie sans fil. — M. Paul Gontier. — France.

563.658. — Sélecteurs et installations téléphoniques commandées par des sélecteurs. — Société dite : Ferdinand Schuchhardt Berliner Fernsprech und Telegraphen Werk A. G. — Allemagne.

---

(1) Les descriptions (notices et dessins) relatives aux brevets sont en vente à l'Imprimerie nationale, 87, rue Vieille du Temple, Paris (IIIe).

563.744. — Perfectionnements aux liaisons téléphoniques à quatre fils. — Société industrielle des Téléphones. — France.

563.567. — Dispositif de connexion à rotule à serrage automatique pour écouteurs téléphoniques et autres applications. — Société dite : Société des Téléphones Ericsson. — France.

563.790. — Système antiparasite pour réception en télégraphie et en téléphonie sans fil. — M. Léon Gabriel Veyssière. — France.

Ce système consiste à amener des oscillations parasites de deux cadres en phase et à la même fréquence, et de les faire agir après détection respectivement et en opposition de phase sur les grilles de deux tubes à trois électrodes, dont les circuits filament-plaque sont communs, les circuits grille étant distincts. Autrement dit, les deux tubes sont montés en compensateur.

563.822. — Procédé pour améliorer le rendement des lampes amplificatrices basse fréquence des appareils de téléphonie sans fil. — M. Calixte Audibert. — France.

Ce procédé consiste à disposer les électrodes des lampes dans un champ magnétique produit d'une façon quelconque. On arrive ainsi à décupler l'action amplificatrice.

563.880. — Perfectionnements aux systèmes de téléphonie automatique ou semi-automatique. — Société dite : The relay automatic telephone company limited. — Angleterre.

563.899. — Perfectionnements aux systèmes de réception d'onde modulée télégraphique et téléphonique. — M. Ernest Yeoman Robinson. — Angleterre.

563.918. — Système électromagnétique de télécombinateurs-commutateurs d'aiguillages de circuits électriques et dispositifs de réalisation. — M. Laurent Sémat. — France.

563.928. — Dispositifs de haute précision pour la transmission d'ordres à distance. — Société Schneider et Cie.

563.963. — Détecteur à cristal pour ondes électriques dans lequel le chercheur est constitué par de la limaille ou de la poudre métallique. — Gaston-Étienne-Nemours Godeau. — France.

La limaille métallique donne une stabilité de fonctionnement beaucoup plus grande qu'avec un chercheur constitué par un fil roulé en spirale. La limaille atteint simultanément plusieurs points sensibles et si par suite d'un choc le contact d'un grain vient à cesser avec un des points sensibles d'autres grains en contact avec des points sensibles voisins continuent d'assurer le fonctionnement du détecteur.

563.970. — Disposition pour câbles téléphoniques avec fonctionnement par renforçateur pour obtenir plusieurs circuits de conversa-

tion indépendants les uns des autres. — Société dite : Naamlooze Vennotschap de Federlandsche Thermo-Telephonn Maatschappij. — Pays-Bas.

564.002. — Perfectionnements aux installations téléphoniques. — M. Donald Worsmer. — France.

564.055. — Perfectionnements apportés aux dispositifs annonciateurs électriques optiques, notamment à ceux devant être utilisés dans le service intérieur de l'exploitation des chemins de fer. — Société dite : Établissements Devilaine et Rougé. — France.

564.078. — Poste récepteur pour télégraphie ou téléphonie sans fil. — M. Pierre-Justin-Édouard Comte. — France.

564.094. — Commutateur combinateur pour réception sur petites et grandes ondes dans un seul appareil de T.S.F. — M. Guillaume-Georges Péricaud. — France.

564.113. — Perfectionnements aux systèmes récepteurs sans fil. — Société dite : Marconi's Wireless Telegraph Company. — Angleterre.

564.129. — Procédé et couplage pour la téléphonie sur des câbles sous-marins et de très longues conduites. — Société dite : Naamlooze Vennootschap de Nederlandsche Thermo-Telephoon Maatschappij. — Pays-Bas.

564.130. — Couplage pour réduire la transmisssion par induction dans les conduites téléphoniques disposées par groupes. — Société dite : Naamlooze Vennootschap de Nederlandsche Therm-Telephoon Maatschahpij. — Pays-Bas.

564.131. — Câble téléphonique multiple. — Société dite : Naamlooze Vennootschap de Nederlandsche Thermo-Telephoon Maatschappij. — Pays-Bas.

564.132. — Câble téléphoniqne multiple. — Société dite : Naamlooze Vennootschap de Nederlandsche Thermo-Telephoon Maatschappij. — Pays-Bas.

Le Gérant,

Léon EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

[illegible] ANNÉE. — N° 5. MAI 1925. PRIX : 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE,
3 RUE THÉNARD, PARIS, Ve

Prix de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger......... 44 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

AVIS

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une Commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette Commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VIIe.

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

RÉSEAUX RADIOÉLECTRIQUES DES ILES ET DE MONTAGNE,

par Julien VERDIER,

Rédacteur principal des Postes et Télégraphes (1).

Les diverses stations radioélectriques exploitées par l'administration française des Postes et Télégraphes peuvent se classer comme il suit :

a) les stations à grande puissance, assurant les communications coloniales et internationales ;

b) les stations côtières radiotélégraphiques, affectées au service radio-maritime ;

c) les stations de radiodiffusion, s'occupant plus particulièrement de radiotéléphonie ;

d) les petites stations radiotélégraphiques de secours.

Nous ne nous occuperons ici que de ces dernières.

Les stations radiotélégraphiques de secours sont des installations de *télégraphie sans fil*, à courte portée, destinées à assurer la correspondance télégraphique en cas d'interruption des communications électriques normales par fil ou par câble.

Les appareils utilisés à cette fin sont des postes du type de la « Radiotélégraphie militaire », transformés par la direction du service de la T. S. F. en vue de les rendre plus adéquats à l'usage auquel on les destine.

Les postes de l'espèce sont groupés en réseaux dépendant du poste installé à la direction du département intéressé. Ces réseaux se divisent en deux catégories :

A. les *réseaux des îles*, chargés de suppléer les défaillances

(1) Voy., du même auteur, *La T. S. F., ses applications en temps de paix et pendant la guerre*, Paris, Gauthier-Villars et Cie, éditeurs.



des petits câbles reliant ces îles au continent ; ceux-ci reposent le plus souvent sur de faibles fonds parfois mouvants, constitués par des sables ou des galets, ou se trouvent soumis aux efforts de traction de courants sous-marins qui les exposent à de fréquentes ruptures ;

B. les *réseaux établis en montagne*, appelés à desservir des régions particulièrement accidentées ou des contrées qui voient souvent leurs communications électriques normales coupées par des avalanches, des orages, des tempêtes ou des bourrasques.

Le courant nécessaire au fonctionnement des stations radiotélégraphiques de secours est tantôt emprunté au réseau local industriel (s'il existe une distribution d'énergie), tantôt obtenu par le système des batteries d'accumulateurs. La direction du service de la T. S. F. n'utilise plus, pour les postes de l'espèce, que des batteries alcalines (1). On sait que les batteries fer-nickel offrent, en effet, le précieux avantage de ne point se sulfater ; l'électrolyte utilisé est inodore et non-corrosif ; en outre, on peut laisser ces batteries chargées ou déchargées un temps indéfini, sans nuire à leur bon fonctionnement ; leur entretien se trouve réduit au minimum, fait très important pour les postes dont il s'agit.

*
* *

A. RÉSEAUX RELIANT LES ILES AU CONTINENT.

Littoral de l'Atlantique.

L'Atlantique est une mer rude, aux marées fortes, aux tempêtes fréquentes et brutales, aux courants multiples et rapides. Le littoral de l'Atlantique possède les îles les plus nombreuses des côtes de France. L'importance du trafic télégraphique échangé entre ces îles et la terre ferme est loin d'être négligeable ; elle s'explique aisément par la densité de la population et l'activité soutenue d'un commerce varié : pro-

(1) Les accumulateurs utilisés sont des accumulateurs S. A. F. T. (Société des Accumulateurs fixes et de traction) qui donnent entière satisfaction.

duits de la pêche, ostréiculture, primeurs, vins, élevage, conserves salines, etc... Bien que la plupart des conducteurs sous-marins reliant les îles au littoral soient affectés de nombreux défauts, que la date de pose de certains remonte à plus de quarante ans, aucune île de l'Atlantique, exception faite de l'île d'Yeu, n'a jamais été privée totalement de liaison télégraphique.

C'est en 1916, alors que la campagne sous-marine battait son plein, que la nécessité de maintenir constantes les liaisons entre les îles de l'Atlantique et le littoral apparut plus impérieuse que jamais. Aux dangers normaux de rupture s'ajoutait alors celui de destruction des câbles sous-marins par l'ennemi. Les services de la radiotélégraphie militaire venaient de mettre au point les premiers postes à ondes entretenues; ces postes avaient donné des résultats tels, que le commandement en prescrivit la généralisation immédiate aux armées, tant pour diminuer les brouillages que pour doter les divers services d'un appareil éminemment transportable, peu encombrant, et d'une installation rapide et facile. Ils étaient doués d'une syntonie excellente et permettaient d'obtenir des portées qui, eu égard à la faible puissance mise en jeu, étaient insoupçonnées jusqu'alors.

L'Administration suivait cette évolution de très près ; les crédits nécessaires à l'établissement de quatre postes de l'espèce (un pour Ouessant, un pour Belle-Ile et pour deux postes correspondants à établir sur la côte) furent accordés par le parlement en 1917. L'état des liaisons entre l'île d'Ouessant et le continent était alors des plus précaires; elles sont normalement assurées par deux câbles (fig. 1) : celui de Brest — Ouessant et celui de continent — île Molène — Ouessant; le premier, affecté d'un grave défaut, était difficilement utilisable ; le second se trouvait rompu. Les nouveaux postes à ondes entretenues devaient servir de liaison de secours. Mais, au moment de la réalisation de ces installations, le ministère de la Marine manifesta de telles craintes de brouillage pour ses stations de la côte bretonne, que cette réalisation dut être ajournée. Ce n'est qu'en août 1918 que le service de la T. S. F. put procéder aux premiers essais; ils portèrent sur la communication Vannes — Belle-Ile.

1° Réseau du Finistère. — De nombreuses îles font partie du département du Finistère ; les principales sont : Batz, au nord ; Ouessant, Molène, Béniguet, Sein, à l'est ; le groupe des

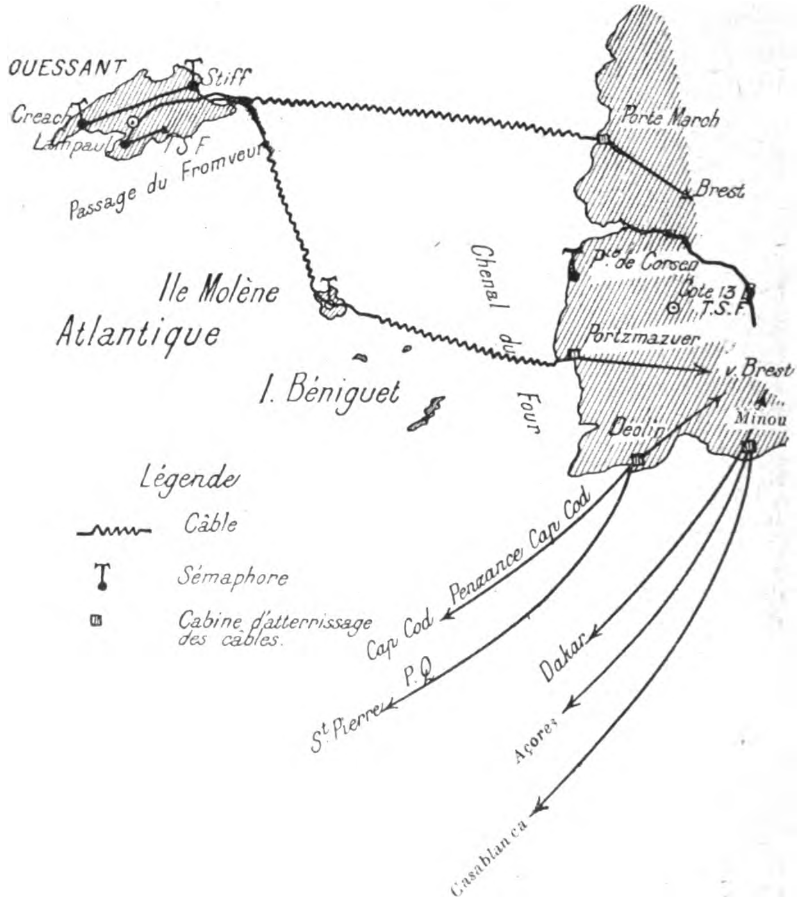


Fig. 1. — Liaisons par câbles entre l'île d'Ouessant et le continent.

Glenans au sud. La seule liaison radioélectrique de secours existant dans ce département est celle de Brest — Ouessant.

En 1922, on a bien envisagé la dotation de postes de l'espèce aux îles de Chausey (1), de Batz, de Bréhat, de Molène et

(1) La liaison îles Chausey — Granville, demandée par la Marine, a été abandonnée, la communication sous-marine existante étant doublée par la liaison optique pointe du Roc — Chausey.

de Sein ; mais les études préliminaires ont mis en évidence les difficultés presque insurmontables que rencontrerait la réalisation d'un tel plan ; en particulier, le fonctionnement et l'entretien de postes radiotélégraphiques dans des îles dépourvues de toute ressource, tant en personnel qu'en matériel, constituent un problème des plus complexes ; l'ajournement de ces installations a été décidé.

Ce n'est qu'au mois de septembre 1923, après de laborieux et multiples essais en vue d'atténuer les perturbations causées par l'induction des appareils télégraphiques du central de Brest, que la communication radioélectrique Brest — Ouessant a été inaugurée. L'île d'Ouessant est séparée du continent par le Fromveur ou « passage de la grande peur », couloir de 22 kilomètres dans lequel circulent de furieux courants qui mettent souvent à mal les deux câbles unissant l'« île sans arbre » à la terre ferme. Comme elle renferme la station côtière de T. S. F. accusant le plus important trafic radiomaritime, il importait au plus haut point de ne pas laisser cette île sans communication. La liaison de secours est actuellement assurée au moyen d'un poste E^{-19} installé au central téléphonique de Brest et communiquant avec un poste situé au bourg de Lampaul dans la maison du Gouverneur ; on n'utilise que deux lampes donnant 60 watts [1].

2° **Réseau du Morbihan.** — Le golfe du Morbihan, mot qui en breton signifie « mer petite », renferme de nombreux groupes d'îles ; les principales sont celles de Groix, Belle-Ile-en-Mer, Houat et Hoedik.

Le réseau du Morbihan comprenait les liaisons de secours Vannes — Groix et Vannes — Belle-Ile. Tant en raison des difficultés d'installation et d'exploitation des postes radioélectriques dans les îles que du nombre de liaisons électriques existantes, ce réseau a été supprimé en juillet 1924.

---

(1) Un poste de ce type, entièrement construit par l'atelier de la direction de la T. S. F. (avenue Daumesnil), doit figurer à l'exposition internationale des Arts décoratifs.



3° **Réseau de la Vendée.** — Il relie les îles de Noirmoutier et d'Yeu à la Roche-sur-Yon. La plus grande de ces îles, Noirmoutier, a une superficie de 5.680 hectares et une population de 7.800 habitants. La plus grande partie de l'île est au dessous du niveau des grandes marées et est protégée par des digues. Les alluvions qui s'accumulent dans la baie de Bourgneuf travaillent à la rattacher à la terre ferme; les bancs de sable augmentent au détriment des passages : le goulet de Fromentine se comble ainsi peu à peu.

L'île, divisée en quatre communes, possède trois bureaux de poste. Le nombre des transmissions électriques échangées entre l'île et le continent atteint parfois le chiffre de 1.700 en un mois. Deux câbles l'unissent à la terre ferme : un câble télégraphique a un conducteur de 1^{km}, 050, posé en 1888 entre la Barre (Vendée) et la pointe de la Fosse (Noirmoutier), et un câble téléphonique à deux conducteurs, de 1^{km}, 140, posé en 1907, et aboutissant à Fromentine (Vendée). Aucune interruption de ces deux câbles n'a été signalée pendant les vingt dernières années.

L'île d'Yeu, située à 29 kilomètres du continent, possède des côtes très escarpées du côté de la pleine mer; sa superficie est de 2.250 hectares, et ses 3.800 habitants n'ont qu'un bureau de poste pour les desservir. Un seul conducteur relie l'île à la terre ferme : partant de la Vacherie (Vendée) pour aboutir à la pointe des Corbeaux, il a un développement de 18^{km}, 300 et date de 1881. Quatre interruptions, d'une durée variant de 2 à 4 mois, l'ont affecté pendant ces dernières années. La moyenne mensuelle des transmissions télégraphiques échangées avec la terre ferme est de 1.500.

En mars 1921, la rupture du câble de l'île d'Yeu nécessite d'urgence l'installation d'une liaison de secours. Mise en service le 12 avril, celle-ci donne d'abord d'assez bons résultats; malheureusement, les circonstances atmosphériques, nettement défavorables, rendent la communication précaire; un grave dérangement affecte même l'un des postes; fort heureusement, le navire câblier « La Charente » répare le conduc-

teur sous-marin, qui est remis en service le 26 juin. Les postes radiotélégraphiques sont revus, mis au point, et conservés comme secours ; des essais de radiotéléphonie, effectués avec ce matériel, ont permis, le 7 juillet suivant, de communiquer entre la Rochelle et l'île d'Yeu (1).

En janvier 1924, le raz-de-marée qui déferla sur la côte française de l'Atlantique mit à mal le câble Yeu — continent. Les postes de Port-Joinville (Yeu) et la Roche-sur-Yon (caserne Travot) assurèrent normalement le trafic pendant toute l'interruption du conducteur. On eut ainsi la preuve des services que l'on peut attendre des postes radiotélégraphiques de secours.

4° **Réseau de la Charente-Inférieure.** — Deux îles importantes se rattachent administrativement au département de la Charente-Inférieure : Ré et Oléron (fig. 2).

Située à 15 kilomètres à l'ouest de la Rochelle, l'île de Ré a 25 kilomètres de long sur 5 à 7 de large. Sa population est de 10.500 habitants. Elle possède d'excellents vignobles et des marais salants. Le pertuis Breton la sépare du continent, tandis que celui d'Antioche la sépare de sa voisine Oléron. Sept bureaux de poste desservent ses neuf communes. Le trafic télégraphique entre l'île et le littoral (3.000 transmissions électriques mensuelles) s'effectue à l'aide de trois câbles sous-marins : deux câbles télégraphiques à un conducteur, le premier datant de 1865 (longueur 4^{km}, 400) et reliant Chef de Baie à Sablanceaux, le second posé en 1885 (4^{km}) entre la Repentie et Sablanceaux, et un câble téléphonique à deux conducteurs, d'un développement de 5^{km}, 200, datant de 1900.

Bien que de nombreuses ruptures aient affecté, durant ces dernières années, deux câbles simultanément, aucune interrup-

(1) Ces essais, effectués par addition d'un modulateur spécial, permirent d'obtenir des conversations aux heures les meilleures au point de vue radioélectrique. Toutefois, par suite de l'échauffement rapide des lampes travaillant à charge exagérée, les liaisons radiotéléphoniques ne purent être que de courte durée.



tion totale de liaison électrique avec le continent n'a été enregistrée. La cause des fréquents dérangements des câbles de l'île de

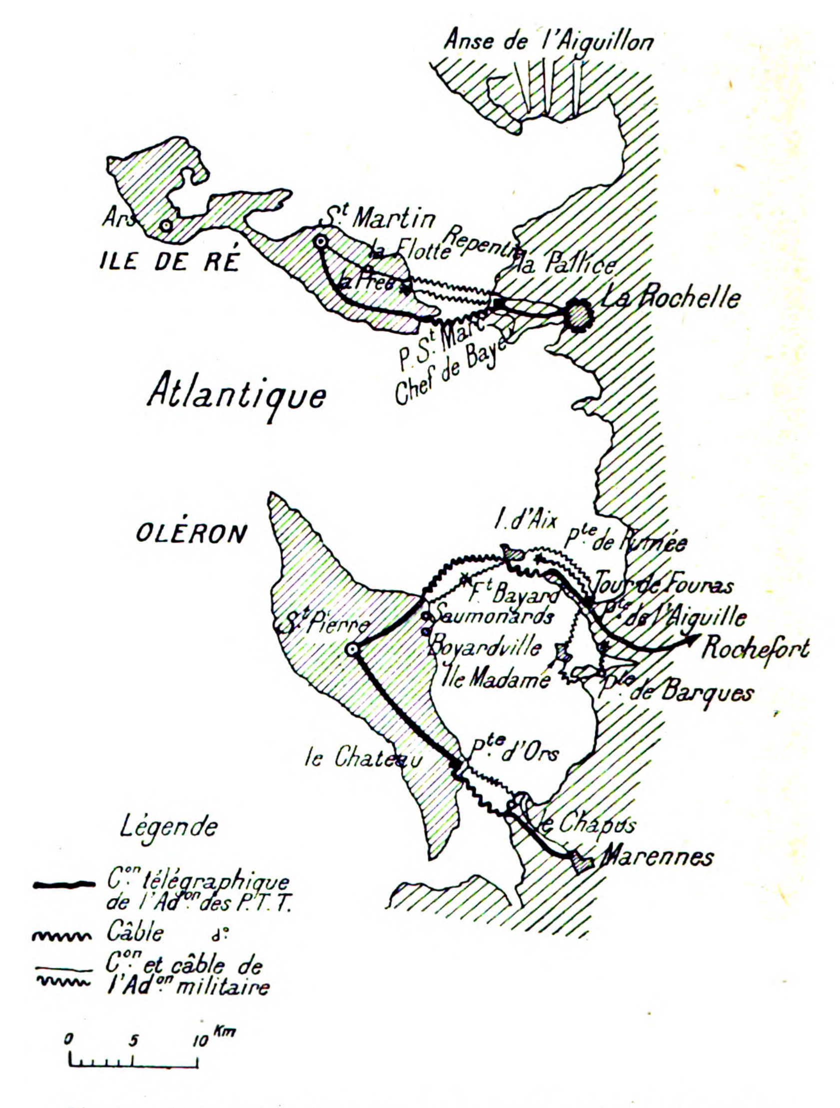


Fig. 2. — Liaisons par câbles entre les îles de Ré et d'Oléron d'une part, et du continent d'autre part.

Ré est due au mauvais tracé des conducteurs, qui sont placés

dans le champ habituel de mouillage des navires, en rade du port de la Pallice. Le déplacement de la cabine d'atterrissage, nécessité par les travaux d'agrandissement du port, en entraînant une modification forcée du tracé des conducteurs sous-marins, améliorera cette situation.

Séparée du continent par le pertuis de Maumusson, l'île d'Oléron a une superficie de 17.500 hectares. Ses 15.300 habitants se répartissent entre six communes. Le trafic télégraphique mensuel de l'île peut atteindre 6.000 transmissions. Il s'achemine par quatre câbles (trois conducteurs télégraphiques et un conducteur téléphonique à 4 fils), qui datent respectivement de 1879 (tronçon pointe de l'Aiguille — île d'Aix : 5^{km}, 800), de 1888 (île d'Aix — pointe des Saumonards : 9^{km}, 200), de 1885, 1903 et 1908 (entre la pointe d'Hors et la pointe de Chapus : 3^{km} environ). A aucun moment on n'a enregistré d'interruption télégraphique totale entre l'île et la terre ferme.

L'installation des postes radioélectriques à courte portée de la Rochelle, Saint-Martin-de-Ré et Saint-Pierre-d'Oléron fut réalisée en 1921. L'instabilité du réseau local de distribution d'énergie d'Oléron fut la cause d'études spéciales : on envisagea un moment la possibilité d'alimenter en énergie le poste de cette île par un moteur éolien. D'autre part, à l'île de Ré, la charge des accumulateurs desservant ce poste nécessitait leur transport à l'usine de la Flotte distante de 5 kilomètres.

En raison de la constance et du nombre des câbles desservant ces îles, la suppression de ce réseau a été décidée ; elle est effective depuis le 18 mars 1924.

Littoral de la Méditerranée.

1° Réseau du Var. — Un seul réseau à courte portée avait été prévu sur les côtes de la Méditerranée : celui du Var. Destiné à établir une liaison de secours entre Toulon et l'île de Porquerolles, il n'a pas été réalisé.

L'île de Porquerolles est reliée au continent par trois conducteurs : un qui appartient à l'administration des Postes (câble

à un conducteur aboutissant à la presqu'île de Giens ; posé en 1865, il a un développement de 3^{km}, 500) et deux qui appartiennent à la Marine, laquelle a en outre établi dans l'île un poste de T. S. F..

2° **Liaison de secours France—Corse.** — Les interruptions des câbles unissant la France à la Corse sont relativement fréquentes ; aussi, pour parer à leur défaillance, a-t-on organisé une liaison radiotélégraphique de secours Gros-de-Cagnes—Ajaccio. Desservie par des appareils rapides, elle permettra d'acheminer par T. S. F. un trafic important. De plus, l'équipement spécial de ces deux stations permettra d'opérer la jonction radioélectrique du réseau téléphonique de la Corse avec celui de la métropole.

Par ailleurs, afin de parer éventuellement au manque de liaison par fil desservant normalement la station côtière radiotélégraphique de Bonifacio, l'administration va doter cette station d'un poste E^{10} qui lui permettra, en cas de besoin, d'écouler directement son trafic avec le continent.

*
* *

B. RÉSEAUX ÉTABLIS EN MONTAGNE.

Les petits postes à ondes entretenues ayant rendu les plus précieux services en temps de guerre, l'administration se devait d'étudier leur utilisation en temps de paix pour remédier à la précarité des liaisons par fil de certaines régions montagneuses.

Une étude d'ensemble sur l'organisation de réseaux radioélectriques à courte portée pour les régions particulièrement accidentées fut entreprise en 1918 par la direction du service de la télégraphie sans fil ; elle concluait à la création de nombreux postes. Nous allons examiner rapidement les principaux réseaux projetés.

Région des Pyrénées.

Réseau de Cerdagne. — Ce fut le premier réseau radio-

télégraphique de secours établi en montagne. Par suite du manque d'entretien des lignes télégraphiques pendant la guerre, chaque hiver, les communications par fil des cantons de Mont-Louis et de Saillagouse étaient des plus précaires. Trois postes furent installés ; dès 1921, le réseau radioélectrique Perpignan — Bourg-Madame — Mont-Louis double le réseau télégraphique aérien ; il achemine un trafic régulier, tantôt comme exercice servant d'entraînement au personnel, tantôt pour suppléer aux communications défaillantes.

En juillet 1920, la Société des grands hôtels et chemins de fer de montagne, obtint l'autorisation d'établir un poste radio-électrique privé à l'hôtel de Font-Romeu ; un poste du type S. F. R. y fut installé et assura une liaison directe avec le bureau de Perpignan. En 1921, sur la demande de la même société exploitante, le poste de Font-Romeu fut transformé et exploité par l'administration des P. T. T.. Pendant les périodes de fonctionnement de la station climatérique (saisons hivernale et estivale), le poste de l'hôtel dessert également le pittoresque village d'Odeillo et, en cas de besoin, l'antique place forte de Mont-Louis.

Au mois de juin 1921, je fus chargé d'une mission d'études sur les liaisons radiotélégraphiques de secours dans les Pyrénées-Orientales, et plus spécialement du projet d'établissement de la communication Prades—Quérigut. Le chef-lieu de canton ariégeois de Quérigut est situé à 1.250 mètres d'altitude ; il dépend de Prades au point de vue télégraphique et téléphonique. Le village s'élève sur un contrefort de la chaîne qui sépare la vallée du ruisseau de Quérigut de la haute vallée de l'Aude ; il est bâti autour d'un énorme bloc rocheux d'une cinquantaine de mètres de hauteur. Son trafic télégraphique est des plus faibles. La ligne reliant Mont-Louis à Quérigut suit d'abord la route de Formiguières, puis s'engage dans le Capsir, contrée très froide exposée aux vents violents du nord ; le relèvement des dérangements est rendu d'autant plus long et pénible que, pendant près de 4 kilomètres, cette ligne est établie en pleine montagne (col des Hares). Pour installer l'antenne du poste de

Quérigut, je songeais à profiter des supports naturels existants : le rocher surplombant le village, d'une part, et les vestiges d'un vieux château-fort de l'autre ; par un heureux hasard, ces supports se trouvaient être parfaitement orientés ; ils constituaient la particularité du poste qui, mis en service en octobre 1922, a été supprimé en octobre 1924 ; un nouveau circuit téléphonique reliant Quérigut à Axat (Aude) rendait désormais inutile le maintien du poste de secours. Il avait été incorporé au réseau commandé par Perpignan et se servait de la station de Mont-Louis comme relais.

Le projet d'installation d'un poste à Prades a été abandonné.

Région des Alpes.

1° Réseau de la Haute-Savoie. — Les hautes montagnes, les gorges sauvages, les pics déchiquetés, les immenses glaciers du massif du mont Blanc attirent chaque année de nombreux touristes : la vallée de Chamonix est une des contrées les plus visitées des Alpes. Aussi l'administration se devait-elle d'assurer une liaison de secours entre Annecy et cette région, où trop souvent les lignes télégraphiques sont hachées par les avalanches.

Dès février 1922, les postes à courte portée de Chamonix et d'Argentière travaillent avec celui d'Annecy. Malgré l'interposition d'une importante partie du massif du mont Blanc, la liaison est convenablement assurée.

Une révision complète de ces installations fut effectuée par le service de la T.S.F. au mois d'avril 1923. Quelques difficultés d'exploitation, ayant surgi au poste d'Argentière (personnel du bureau inapte à la lecture au son et recharge des accumulateurs peu facile), entraînèrent la suppression de ce poste au mois de juillet 1923. La distance séparant Chamonix d'Argentière n'étant que de 9 kilomètres, et ces deux localités étant directement reliées par la voie ferrée, le trafic serait éventuellement assuré par le poste de secours de Chamonix.

Cette dernière installation a d'ailleurs fait ses preuves

pendant l'hiver 1923-1924. De nombreuses avalanches ayant interrompu toutes les lignes aériennes pendant les jeux olympiques donnés à Chamonix en janvier 1924, tout le trafic fut normalement écoulé par la voie radiotélégraphique. En outre, le poste de T.S.F. de Chamonix fut largement utilisé pour renseigner, par l'intermédiaire de la station à grande puissance de Lyon-la-Doua, tous les sportifs du monde entier sur les diverses phases des joutes athlétiques de montagnes.

2° **Réseau des Hautes-Alpes.** — Le réseau des Hautes-Alpes est appelé à desservir le plus âpre et le plus désolé des grands massifs alpestres, celui du Pelvoux, qui, avant l'annexion de la Savoie, possédait la plus haute montagne de France. Les interruptions de lignes y sont particulièrement importantes et de longue durée : la localité des Aiguilles, gentille bourgade bâtie à 1.450 mètres d'altitude dans la vallée du Guil, artère principale du Queyras, est restée sans liaison avec le réseau général du 30 décembre 1922 au 4 janvier 1923 ; la ligne électrique reliant la Grave à Briançon s'est trouvée interrompue en 1922 du 3 avril au 1er juin, et en 1923 pendant deux périodes de 10 et 25 jours.

Le réseau de secours de ce département comprend les trois stations de Gap, des Aiguilles et de la Grave.

La constitution du réseau radiotélégraphique des Hautes-Alpes a offert de grandes difficultés ; si la distance à vol d'oiseau séparant les trois localités à desservir : Gap (743m d'altitude), les Aiguilles (1.471m) et la Grave (1.495m) ne dépasse pas 55 kilomètres, par contre de formidables obstacles naturels séparent ces trois bureaux : entre Gap et la Grave se dresse le massif du Pelvoux atteignant 3.987 mètres au pic de la Meije, au pied duquel est bâti le village de la Grave; entre la Grave et les Aiguilles, localités situées dans des vallées profondément encaissées, s'interposent la Barre des Écrins (4.103m) et le mont Pelvoux (3.938m).

Malgré tous ces obstacles, la liaison radiotélégraphique entre les trois localités a été aisément établie à l'aide de postes de très

faible puissance, du type E13. A Gap, on utilise, comme support d'antenne, le clocher de la cathédrale, et à la Grave celui de l'église. Ce réseau a été mis en service en novembre 1924.

3° **Réseau des Alpes-Maritimes.** — Tandis que la région littorale de ce département constitue une des contrées les plus favorisées du globe par le climat, le nord et l'est appartiennent à une des parties des Alpes les plus ravinées. Aussi les lignes télégraphiques desservant les communes de Fontan et de Saint-Martin-Vésubie, pour ne citer que ces deux communes, sont-elles fréquemment coupées, en été comme en hiver, par de violents orages. Deux postes de secours suppléent à ces interruptions et les relient à la station de Cros-de-Cagnes (Nice-T.S.F.). Le poste chef de réseau, dont l'installation était primitivement prévue au central télégraphique de Nice, a dû être transféré à l'ancienne station côtière radiotélégraphique, par suite de difficultés locales de réception, la forte induction causée par les appareils Baudot n'ayant pu être annulée.

Fontan est situé à une altitude de 434 mètres, au débouché de la fameuse gorge de Gandaréna, une des plus grandioses des Alpes : les parois à pic en roche schisteuse atteignent 250 mètres de haut et se rapprochent tellement, par endroits, que la Roya et la route s'y disputent la place nécessaire à leur passage. La ligne desservant la localité suit d'abord la route accidentée de Sospel, puis longe la sauvage gorge de la Roya.

Sis à 950 mètres d'altitude, le bourg de Saint-Martin-Vésubie occupe une hauteur au confluent du torrent de la Madone de Fenestre et du Boréon. La ligne télégraphique suit la magnifique mais peu sûre gorge de la Vésubie ; longue de 10 kilomètres, cette dernière s'ouvre entre des murailles de rochers atteignant jusqu'à 500 mètres de hauteur.

Les postes de secours permettront à ces localités de sortir de l'isolement où elles se trouvaient pendant les périodes assez longues de réparation des lignes télégraphiques.

Le réseau des Alpes-Maritimes est entré en fonctionnement au mois d'août 1923.

Région du Massif Central.

« Le Massif Central a des hivers très froids, avec des neiges profondes qui effacent les plis des vallons, cachant les routes qu'on a dû, aux mauvais passages, baliser de poteaux élevés. » Autant les hivers sont rigoureux sur la lave des monts d'Auvergne ou dans la région des Causses, autant les étés y seraient brûlants si l'altitude et les vents n'y tempéraient les rayons ardents du soleil. Aussi le givre, les tourmentes de neige en hiver, de violents orages en été, provoquent-ils de nombreux dérangements sur les circuits électriques traversant cette région. Pendant les hostilités, faute de personnel spécialisé, l'entretien du réseau aérien avait été négligé ; les interruptions devenaient si fréquentes, qu'en 1918 la création de nombreux postes radio-électriques de secours dut être envisagée. Les projets du Service de la T.S.F. prévoyaient l'installation des réseaux de Lozère (Mende — Langogne — Le Bleymard — Meyrueis) et du Cantal (Aurillac — Chaudesaigues).

Depuis l'armistice, les communications télégraphiques se sont sensiblement améliorées : les lignes anciennes ont été réparées, révisées, consolidées ; de nouvelles liaisons, suivant parfois des tracés moins exposés, ont été construites ; d'autres ont été doublées. Les interruptions sont devenues moins fréquentes, et les deux réseaux primitifs de secours ont pu être fusionnés en un seul réseau interdépartemental de sécurité. Les postes de Chaudesaigues, de Meyrueis et du Bleymard sont supprimés.

Le réseau actuel comprend les postes de Mende, Rodez et Aurillac. Le poste à courte portée de Langogne (Lozère) est rattaché à ce réseau. En raison de la précarité de l'unique liaison aérienne Rodez — Aurillac, liaison qui s'établit à travers les gorges sauvages du Lot et de la Truyère, les contreforts des monts d'Aubrac et du Plomb-du-Cantal, on a jugé opportun de transférer à Rodez le poste primitivement destiné à Chaudesaigues.

Les essais Mende — Langogne datent du 23 juin 1923 ; au cours de l'année 1924, ces postes ont été sensiblement amé-

liorés. Le poste de Rodez a été mis en service au mois de septembre 1924 : c'est un poste E^{13} transformé. Celui d'Aurillac ne sera réalisé que lors de l'agrandissement des locaux de la recette principale des postes de cette ville.

La communication Mende — Langogne a fonctionné comme secours en mars dernier, des tourmentes de neige ayant coupé les liaisons par fil et entravé les communications ferroviaires.

Postes radiotéléphoniques de secours dans les refuges de montagne.

Le 3 septembre 1923, sur l'initiative du Touring Club de France et du Club Alpin français, des expériences de communication, tant par radiotélégraphie que par radiotéléphonie, eurent lieu entre le châlet-hôtel du col du Glandon (1.933 mètres d'altitude) et le bureau de poste de Saint-Colomban-des-Villards, situé dans la vallée à plus de 10 kilomètres de distance. Elles avaient pour objet de rechercher la possibilité de mettre fin à l'isolement des refuges de montagne et d'assurer un moyen facile de liaison aux station de haute altitude. Les appareils utilisés provenaient de la compagnie Thomson-Houston (poste à quatre lampes donnant une intensité de $0^{A},6$ dans l'antenne).

La liaison radiotélégraphique put être immédiatement assurée ; par contre, la communication radiotéléphonique demeura précaire; toutefois une surélévation de l'antenne mobile du col du Glandon permit d'échanger une dizaine de messages. L'antenne du châlet du Glandon était constituée par deux brins de 30 mètres faisant entre eux un angle de 60° et placés à 6 mètres de hauteur; à Saint-Colomban-des-Villards, l'antenne, identique, avait une hauteur moyenne de 5 mètres. Les terres étaient constituées, dans les deux postes, par 3 mètres carrés de grillage de cuivre enfouis dans la terre à 10 centimètres de profondeur.

Le Radio-Club de France a l'intention de doter d'installations radioélectriques les refuges les plus intéressants; ils pourraient ainsi, en cas de besoin, entrer facilement en liai-

son avec les bureaux de poste voisins. Le programme actuellement arrêté est le suivant :

en 1924, refuge de la Charmette (nord de Grenoble) relié à Saint-Laurent (7^{km}) ou à Saint-Pierre (6^{km}) ;

en 1925, refuge Wallon (Hautes-Pyrénées) relié à Cauterets (10^{km}) ;

en 1926, refuge de la Tournette (Haute-Savoie) relié à Talloires (4^{km}) ou à Faverges (9^{km}) ;

en 1927, refuge d'Oredon (Hautes-Pyrénées) relié à Barèges (11^{km}) ;

en 1928, refuge du Gerbier du Jonc (Haute-Loire) relié aux Estables (6^{km}) ;

en 1929, refuge de l'Abérouat (Basses-Pyrénées) relié à Lescun (3^{km}) ;

en 1930, refuge d'Arvières (Ain) relié à Champagne (8^{km}) ou à Anglefort (4^{km}).

*
* *

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES.

Matériel. — A l'origine, les postes radiotélégraphiques de secours étaient établis avec du matériel provenant des stocks de guerre. Étudiés pour un service spécial déterminé, les organes de ces postes se trouvaient comprimés dans une boîte en ébénisterie les rendant facilement transportables ; par contre, la relève d'un dérangement constituait une opération assez compliquée, exigeant la présence d'un agent mécanicien spécialiste ; ils se prêtaient mal à l'exploitation commerciale de l'administration.

La nécessité de transformer ce matériel s'affirma de plus en plus, au fur et à mesure de son utilisation. Il fallait une certaine habitude pour effectuer les réglages de réception et éviter les postes brouilleurs : les nombreux dérangements affectant ces postes les rendaient peu pratiques ; il fallut étudier leur transformation, la compléter par l'adaptation des appareils à l'emploi de lampes émettrices d'un modèle renforcé. Les accumulateurs

au plomb causèrent de nombreux déboires ; on y remédia par l'utilisation de batteries alcalines.

La période d'essais dura de 1918 à 1922 ; on se décida alors à mettre au rebut les vieux postes et à adopter uniformément ceux des séries E^{13} et E^{4} modifiés, plus puissants, d'un fonctionnement moins délicat. Ils donnent entière satisfaction.

D'autre part, l'installation des antennes de ces stations doit être étudiée particulièrement. Il importe en effet de tenir compte de quelques considérations spéciales pour établir avec soin la partie extérieure des installations de secours exposée aux intempéries. Tout d'abord, il convient d'observer que la tension du vent, sur des fils d'une portée dépassant le plus souvent une centaine de mètres, est loin d'être négligeable ; cette tension, particulièrement forte en pays de montagnes, peut, dans certains cas, suivant des études américaines, donner un effort résultant évalué à 520 grammes par mètre. Les dépôts de givre arrivent parfois à tripler le diamètre du fil, et la neige et le verglas, par temps calme, peuvent le quintupler ; l'emprise du vent augmente en proportion. Il est donc indispensable de calculer les supports avec un coefficient de sécurité suffisant. Les difficultés rencontrées dans la réalisation des travaux ne sont pas moindres : la plupart de antennes s'accrochent à des clochers, et leur pose exige parfois de véritables acrobaties.

Personnel. — Le problème du recrutement du personnel desservant ces installations a offert de sérieuses difficultés. Le fonctionnement et l'entretien des postes de l'espèce, surtout si l'énergie nécessaire à son fonctionnement est à produire sur place, exigent un personnel possédant quelques données théoriques de radioélectricité, familiarisé avec la technique des moteurs et la lecture au son, et ayant acquis une certaine pratique des appareils émetteurs, récepteurs et autres.

Or, presque toujours, les bureaux à doter d'une installation de secours sont classés dans la catégorie des « indésirables », c'est-à-dire sur la liste des bureaux qui trouvent difficilement des titulaires. Comment exiger alors des lecteurs au son entraî-

nés? Il arrive parfois même que les seuls postulants sont des receveuses âgées, qui, lorsqu'on leur parle de T.S.F., lèvent les bras au ciel comme s'il s'agissait de quelque science mystérieuse et déclarent net qu'elles n'y connaissent rien, et ne peuvent s'y intéresser... à leur âge!

Heureusement, avec la paix, le réseau général s'est fort amélioré; sa situation a permis la suppression de nombreux postes de secours primitivement envisagés. D'autre part, en dotant d'avantages spéciaux les bureaux assumant une liaison radioélectrique de secours, en simplifiant au possible la manœuvre des appareils, on a réduit de beaucoup l'aversion primitivement nourrie par le personnel de ces bureaux contre ce mode de communication. Il est juste de dire que certains agents, rares cependant, pris d'un engouement subit pour la T S.F., sont arrivés presque d'eux-mêmes à des résultats surprenants, tel le personnel du bureau de Port-Joinville (île d'Yeu), à qui des félicitations officielles ont été adressées.

L'œuvre de vulgarisation radiophonique aidant, les bureaux de l'espèce seront de plus en plus recherchés; des avantages spéciaux leur sont attachés, et les nouveaux titulaires sont tenus d'accomplir un stage préliminaire d'instruction professionnelle. D'autre part, l'écoute des concerts radiophoniques constituera une distraction intéressante pour le personnel de ces bureaux déshérités.

Service météorologique. — Un service régulier de diffusion des prévisions météorologiques est assuré, au moyen des postes radioélectriques de secours, dans certaines régions touristiques; il consiste en la remise régulière des renseignements émis par la tour Eiffel aux communes et aux particuliers abonnés à ce service.

Caractéristiques des postes. — Les stations radioélectriques de secours utilisent des longueurs d'onde variant de 1.200 ou 2.000 mètres. Les indicatifs d'appels sont les mêmes que ceux employés dans les relations télégraphiques par fil : ini-

Situation actuelle du réseau radiotélégraphique de secours.

Département.	Localité.	Caractéristiques du poste (onde normale de travail, etc.).	Observations.
Hautes-Alpes	Gap Les Aiguilles La Grave	Poste E^{13-3}. $\lambda = 2.000^m$. » » Poste E^{13}. $\lambda = 2.000^m$.	antenne accrochée au clocher de la cathédrale. antenne accrochée au clocher de l'église.
Alpes-Maritimes	Fontan Saint-Martin-Vésubie	Mis en service en août 1923. Poste E^{13}. Poste E^{13}.	les stations de Fontan et Saint-Martin-Vésubie travaillent avec Cros-de-Cagnes ; la station de Nice a été supprimée en mars 1923.
Aveyron	Rodez	Poste E^{13}. $\lambda = 1.900^m$.	antenne supportée par la tour des Archives ; travaille avec Mende et ultérieurement Aurillac.
Finistère	Brest Ouessant	Poste E^{19} (travaillant sur 2 lampes seul[t]). $\lambda = 1.300^m$. Poste E^{19}. $\lambda = 2.000^m$.	poste installé au central téléphonique. poste installé dans la Maison du Gouverneur.
Lozère	Mende Langogne	Poste E^{13-3}. $\lambda = 2.000^m$. Poste E^{13-3}. $\lambda = 1.900^m$.	installés en juin 1923, révisés en mai 1924 ; ce réseau travaille avec le poste de Rodez et ultérieurement avec celui d'Aurillac.
Pyrénées-Orientales	Perpignan Bourg-Madame Font-Romeu	Poste E^{13}. $\lambda = 1.200^m$ (évent[t] 1.300^m et 1.600^m). Poste E^{13}. $\lambda = 1.200^m$. Poste E^{13}. $\lambda = 1.200^m$.	ce réseau comprend également le poste de Mont-Louis, provisoirement déclassé (octobre 1924) ; c'est à lui qu'était rattaché l'ancien poste de Quérigut (Ariège).
Haute-Savoie	Annecy Chamonix	Poste E^{13}. $\lambda = 1.900^m$. Poste E^{13}. $\lambda = 1.600^m$.	le poste d'Argentière a été supprimé le 13 juillet 1923.
Vendée	La Roche-sur-Yon Yeu Noirmoutier	Poste E^{13}. $\lambda = 1.480^m$. Poste E^{13}. — — —	*N.B.* — Le réseau du Morbihan (Vannes, Groix, Belle-Ile) a été supprimé en juillet 1924 ; celui de la Charente-Inférieure (La Rochelle-Ré-Oléron) a été supprimé en mars 1924.

tiale du nom de la localité appelée, ou, en cas de confusion possible, groupe de deux lettres pris dans ce nom.

*
* *

Il serait désirable que, dans un avenir prochain, les progrès de la technique radioélectrique permissent de substituer, aux émetteurs télégraphiques de secours actuels, des postes radiotéléphoniques d'une manipulation plus simplifiée. Leur emploi pourrait alors se généraliser facilement, ces stations n'exigeant plus de connaissances particulières ; elles permettraient en outre d'obtenir un rendement supérieur à celui que l'on peut attendre de postes radiotélégraphiques.

Depuis le 1er janvier 1924, les réseaux radioélectriques de secours sont placés sous l'autorité directe des directions régionales intéressées.

A un autre point de vue, il conviendrait de prévoir des brigades spéciales de réserve, qui, dotées de postes radio-électriques mobiles, assureraient, le cas échéant, des liaisons temporairement interrompues.

La constitution de semblables brigades pourrait aisément s'effectuer avec le personnel initié à la T.S.F. dont disposent le centraux télégraphiques de Lyon, de Toulouse et de Marseille.

Et lorsque, dans un avenir prochain, les postes de diffusion radiotéléphoniques viendront, avec les stations du réseau intérieur (stations chargées de l'acheminement extra-rapide d'une catégorie de correspondance « éclair »), s'ajouter aux réseaux locaux des postes de secours des îles et de montagnes, ce jour-là, le réseau radioélectrique français sera à même de parer efficacement à toute éventualité.

L'AUTONOMIE FINANCIÈRE DES P.T.T. ET LES MÉTHODES MODERNES DE COMPTABILITÉ,

par E. JULHIET,

Ingénieur civil des Mines [1].

Messieurs,

La loi de finances du 30 juin 1923 a prescrit des changements considérables dans la gestion financière des P.T.T. : elle a donné à cette grande administration ce qu'on appelle l'autonomie financière.

Lorsqu'il a voté cette réforme, le parlement avait un premier objectif, celui de permettre aux P.T.T. d'entreprendre de grands travaux, soit en constituant dans ce but des réserves, soit en émettant des emprunts spécialisés aux besoins des P.T.T.. Je ne vous parlerai pas de ce premier objectif.

Mais le parlement voulait surtout autre chose : il voulait transformer la gestion purement administrative des P.T.T. en une gestion industrielle ; il voulait que la gestion des dépenses fût rapprochée de la gestion des recettes, et que de ce rapprochement résultât un chiffre : le bénéfice ou la perte de l'exploitation. Il voulait *voir clair* dans l'entreprise postale, télégraphique et téléphonique, comme le patron d'une grande entreprise industrielle voit clair dans son usine. Or, jusqu'ici, les comptes présentés au parlement n'apprenaient qu'une chose : c'est que les crédits ouverts annuellement aux P.T.T. étaient dépensés régulièrement; quant aux recettes, elles tombaient pêle-mêle dans la masse des produits budgétaires : aucune liaison entre les recettes et les dépenses, aucun bilan, aucun compte d'exploitation. Les législateurs de juin 1923 ont voulu

---

(1) Conférence faite à l'Ecole professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes le 31 octobre 1924.

que dorénavant la comptabilité des P.T.T. permette, au parlement d'abord, au public ensuite, de se rendre compte de la marche industrielle et des résultats financiers que donne ce service d'État.

La réforme est donc essentiellement une réforme de comptabilité : elle introduit dans la gestion d'une administration d'État les règles de la comptabilité moderne, telle qu'elle fonctionne dans l'industrie.

*
* *

Avant de vous parler, Messieurs, de cette application des principes comptables industriels au service des P.T.T., je vais vous rappeler ces principes; il sera facile ensuite de vous montrer leur adaptation aux P.T.T..

La comptabilité est devenue un des rouages principaux d'une entreprise industrielle. Autrefois, les entreprises n'évoluaient qu'avec une certaine lenteur; dans l'existence d'un homme, une affaire se développait ou diminuait, mais lentement. Aujourd'hui, avec les grandes variations des prix et du change, avec les concurrences agressives et subites, on voit péricliter tout à coup des affaires prospères; d'autres, en situation difficile, ressuscitent et deviennent brillantes.

Plus que jamais aujourd'hui, il faut qu'à tout instant l'industriel connaisse la situation de son entreprise; il faut qu'il connaisse la situation de chacun des éléments de son entreprise, à l'actif et au passif. Et il est indispensable qu'il sache ses prix de revient, afin d'être assuré que ce qu'il vend au public pour un prix déterminé n'est pas produit à un prix plus élevé. Le grand but de la comptabilité est de montrer à tout moment :

ce que l'industriel possède et ce qu'il doit, c'est-à-dire son bilan ;

s'il gagne ou perd, c'est-à-dire son compte de profits et pertes ;

et pourquoi il gagne ou perd, c'est-à-dire ses prix de revient.

Imaginons une entreprise industrielle sous sa forme la plus schématique. Prenons un forgeron de campagne. Ce forgeron

vient s'installer dans un village. Il a peu d'argent, tout juste ses outils. Il loue un hangar, installe un foyer, un soufflet, une enclume, achète des tranches, des étampes, des pinces, des marteaux, embauche un apprenti, et attend la clientèle. On vient le trouver; il a du travail, qu'il se fait payer pour le temps que son apprenti et lui y ont consacré. A la fin de l'année, il ouvre son tiroir, regarde l'argent qui s'y trouve, et sait ainsi ce qu'il a gagné pendant l'année.

Or voici que ce forgeron est un bon ouvrier; il réussit, on s'adresse à lui de tous côtés, et, comme il a de l'ambition, il loue un hangar voisin. Il achète une perceuse, une foreuse, un petit outillage, embauche deux ou trois compagnons pour l'aider; il achète d'avance des fers profilés, des tôles, pour exécuter les travaux qu'on lui demandera. Il emprunte cinquante mille francs pour augmenter son outillage. En un mot, il devient un petit industriel.

S'il n'introduit pas alors dans son installation un outillage de comptabilité, il ne saura plus où il en est. A la fin de l'année, quand il regardera ce qu'il a dans son tiroir, cela ne lui apprendra rien. Pourquoi ? Parce que s'il a cinq ou six mille francs dans son tiroir, par contre, il doit de l'argent aux personnes à qui il a emprunté. D'autre part, certains clients lui doivent de l'argent; en outre, il possède un assortiment de fers, de tarauds, de pièces de tout genre qui ont de la valeur aussi. Le voilà obligé, de faire un long calcul pour savoir ce qu'il doit, ce qu'on lui doit, ce qu'il possède de marchandises en magasin. En un mot, il est obligé de faire œuvre de comptable moderne.

Si, d'un petit patron de village, nous passons à une grande industrie, qui a des centaines ou des milliers d'ouvriers, des centaines ou des milliers de clients, à l'intérieur de laquelle se produit des milliers d'opérations chaque jour, il est évident que, si cette industrie n'a pas de service spécial de comptabilité bien dirigé, à aucun moment le patron ne saura où il en est. Il ne connaîtra pas sa situation, ses débiteurs, ses créanciers et ses prix de revient. Il ne saura pas, quand il vend un produit, s'il le vend à perte ou non.

Ce qui caractérise essentiellement une entreprise moderne, que ce soit une entreprise de travaux publics, une entreprise métallurgique, une entreprise minière ou un service public, c'est la *vie* qui y règne. La vie est plus ou moins intense, suivant la nature de l'industrie ; mais l'entreprise est essentiellement une chose vivante. Les matières premières achetées au dehors arrivent dans l'entreprise, entrent dans les magasins, qu'elles gonflent petit à petit. Elles en sont retirées pour entrer dans la fabrication, dans les fours, qui les chauffent et transforment la structure moléculaire de ces matières. Des laminoirs, des machines de tout genre, mécaniquement modifient encore cette matière, jusqu'à la production de l'objet fini. A travers cette circulation de matière, l'effort humain, qui s'est glissé dans toutes les opérations, les a dirigées, les a commandées, est ainsi intervenu, pour une plus grande part même que la matière, à réaliser l'objet final, le produit fini.

Dans une grande entreprise industrielle, il y a encore quelque chose de plus, il y a l'*âme* de l'entreprise. Elle se manifeste par une plus ou moins grande activité du rythme de l'usine, par une plus ou moins grande rapidité de circulation de la matière, par une plus ou moins grande intensité de l'effort humain au travail, par une plus ou moins parfaite coordination des éléments de l'entreprise.

La comptabilité va avoir un travail formidable à accomplir, puisqu'elle va avoir à enregistrer toute cette vie de la matière, toute cette activité de la main-d'œuvre, et aussi ces éléments subtils qui constituent l'âme de l'entreprise.

Comment s'y prendra-t-elle ? La comptabilité est une science, et elle opérera comme toutes les sciences. Voici, en résumé, les trois étapes de son travail :

1. Notation analytique de tousl es mouvements de l'entreprise ;
2. Mise en ordre et groupement, par classes, de ces mouvements ;
3. Tableau d'ensemble.

Première étape : La notation analytique de tous les mou-

vements. — Toute l'activité de l'usine est matérialisée par des mouvements, et ces mouvements sont presque exclusivement des mouvements de matières ou des mouvements de main d'œuvre. Par exemple, une tonne de charbon arrive de l'extérieur pour entrer dans les magasins ; ceci est un mouvement qui se produit dans l'entreprise : la comptabilité devra l'enregistrer. Une pièce brute de forge entre dans un atelier, un ouvrier va y appliquer de la main-d'œuvre et travaillera à l'usiner, à la transformer en pièce finie ; c'est encore un mouvement de main-d'œuvre qui sort, en quelque sorte, des bras de l'ouvrier pour venir s'incorporer à la pièce de forge ; la main-d'œuvre est entrée dans la matière pour en augmenter la valeur.

Comment noter les deux mouvements que nous venons de prendre en exemple ?

Lorsqu'une tonne de charbon de 80 francs vient de l'extérieur pour entrer dans les magasins, ce mouvement est très facile à noter ; ce sont 80 francs qui viennent augmenter la valeur des magasins. Considérons maintenant la pièce brute de forge ; elle vaut 90 francs. Supposons que, sur cette pièce brute de forge, viennent s'appliquer deux journées de main-d'œuvre à 30 francs. Après cette application, la valeur de la pièce de forge sera de 90 francs, plus deux journées à 30 francs, c'est-à-dire 150 francs. Voilà donc un mouvement qui, à première vue, paraissait ne pas pouvoir être chiffré, et qui se ramène à un transport de 60 francs s'incorporant à la valeur de la pièce brute pour en faire une pièce finie.

Tout mouvement à l'intérieur d'une entreprise peut ainsi être ramené à un déplacement d'argent. Le rôle de la comptabilité, à sa première étape, sera d'inscrire, dans un registre appelé *journal*, tous les mouvements de l'entreprise, après les avoir ramenés à leur valeur en argent.

Pourquoi ramène-t-on à la valeur en argent ? Parce que, dans une seconde étape, la comptabilité aura à grouper les mouvements, et à additionner ceux de même nature. Or, pour additionner un mouvement de matière avec un mouvement de salaire, nous sommes obligés de prendre une commune mesure ; nous

ne pouvons pas additionner un lingot d'acier avec deux journées de main-d'œuvre, sans prendre une commune mesure, qui est la valeur en argent. Nous additionnerons 90 francs d'acier avec 60 francs de main-d'œuvre, et nous obtiendrons 150 francs, représentant la valeur (prix de revient) d'une pièce après l'usinage.

Deuxième étape : Mise en ordre et groupement, par classes, des mouvements. — Ces mouvements étant enregistrés chronologiquement, dans leur première étape, avec leur valeur en argent, nous allons grouper tous ces mouvements par classes. Dans une grande entreprise, il y a chaque jour des milliers de mouvements élémentaires. On va les grouper par classes, qui sont appelées des *comptes*. On va prendre sur le *journal* tous les mouvements qui concernent un même compte. Il y aura le compte Magasin, le compte Caisse, le compte Outillage, le compte Bâtiments, le compte Mobilier, etc... Il y aura même le compte Frais de fabrication, qui réunira tous les mouvements occasionnés par la fabrication d'un objet et dont l'ensemble constituera le prix de revient de cet objet. Tous les mouvements élémentaires que nous avons notés tout à l'heure seront ainsi repris et reportés sur un *grand livre*, chacun dans un compte déterminé.

Ici, attention ! nous sommes en comptabilité moderne : la *comptabilité en partie double*. Autrefois, on reprenait chaque mouvement et on le portait dans un seul compte. Dans la comptabilité en partie double, on reprend chaque mouvement, mais on le reporte dans deux comptes. Tout mouvement intéresse deux comptes : tout mouvement part d'un point et va à un autre. On ne conçoit pas un mouvement qui partirait d'un point pour s'en aller dans le vague ou l'infini, et vice versa. Voici, par exemple, le mouvement d'une tonne de charbon valant 80 francs, qui est achetée au dehors et mise dans le magasin. Quels sont les comptes qui vont jouer ? Comme on paye ce charbon en argent, la caisse sera diminuée de 80 francs, puisqu'elle aura payé le charbon ; par contre, les magasins vont augmenter de 80 francs,

puisqu'ils se sont enrichis d'une tonne de charbon. Il y aura donc transport de 80 francs du compte Caisse au compte Magasin.

Si vous payez un ouvrier 60 francs pour avoir usiné une pièce d'acier, c'est encore la Caisse qui va payer les salaires, par conséquent qui va diminuer de ces 60 francs. Mais, par contre, la pièce d'acier, c'est-à-dire le compte Marchandises en cours de fabrication va augmenter de 60 francs, puisque la pièce usinée a pris une valeur de 60 francs de plus.

Ainsi tout mouvement, quel qu'il soit, diminue un compte pour en augmenter un autre de la même quantité. En comptabilité moderne, il est interdit de toucher à un compte sans en toucher un autre de la même quantité ; si un compte est crédité d'une certaine somme, un autre compte sera débité de la même somme.

L'ensemble des comptes constitue le *grand livre*, et, si la première étape a consisté à enregistrer dans un *journal* tous les mouvements au fur et à mesure qu'ils se produisent, la seconde étape consiste à reporter au grand livre toutes les inscriptions du journal, en inscrivant chacune dans les deux comptes qu'elle affecte [1].

Troisième étape : Tableau d'ensemble. — La troisième étape sera la synthèse générale de l'entreprise. Nous avons jusqu'ici inscrit dans chaque compte tous les mouvements qui l'ont affecté. Certains comptes ont ainsi beaucoup « mouvementé ». Le compte Magasin « mouvemente » tout le temps pendant une année ; le compte Caisse a un mouvement incessant aussi. D'autres

(1) Puisque tout mouvement donne lieu à un crédit et à un débit de même valeur, si l'on prend le total de tous les mouvements qui se sont produits dans l'ensemble de l'entreprise, le total des débits sera égal au total des crédits, puisque, toutes les fois qu'on aura inscrit un crédit quelconque, on aura inscrit un débit de même valeur.

Cette égalité des totaux des débits et des crédits doit être vérifiée fréquemment et prouve la justesse de la comptabilité.

Les comptables sont, bien entendu, fort ennuyés quand les totaux en question ne sont pas égaux. Les uns s'en désolent et passent leurs soirées et leurs nuits à chercher l'erreur. D'autres inscrivent ingénuement un rectificatif sous le nom d' « Erreur de balance » : ils doivent être blâmés. D'autres enfin faussent volontairement un des totaux pour le faire « coller » avec l'autre : ils doivent être renvoyés.

comptes, au contraire, ont peu de modifications dans le courant de l'année ; par exemple : le compte Mobilier, le compte Bâtiments d'usine. A la fin de l'année, chaque compte se présente ainsi avec toutes les modifications qu'il a subies successivement au courant de cette année.

Arrêtons alors la situation de chacun des comptes, c'est-à-dire additionnons tous les crédits de ce compte ; tous ses débits aussi. Le solde positif ou négatif donnera la valeur du compte. Pour le compte Magasin, par exemple, nous additionnons ce qu'il y avait au début de l'exercice et tout ce qui y est entré ; nous retranchons ce qui en est sorti : la différence donne ce qui reste en magasin. De même pour les autres comptes, qui seront tous arrêtés de la même façon, et dont les soldes seront établis.

Si nous réunissons tous ces soldes dans un grand tableau, qu'on appelle *balance* ou *bilan* suivant sa forme, nous aurons la situation de l'ensemble de l'entreprise. Nous aurons d'un côté tous les comptes *actifs*, c'est-à-dire ce que possède l'entreprise ; d'un autre côté, tous les comptes *passifs*, c'est-à-dire tout ce qu'elle doit. La différence représente ce qu'elle vaut ; et la différence entre ce qu'elle vaut au 31 décembre de cette année et ce qu'elle valait au 31 décembre de l'année dernière donne le profit ou la perte de cet exercice.

Prenons un exemple très simple, très schématique, qui vous montrera à la fois ce qu'est la vie d'une entreprise et le bilan qui la reproduit. Considérons une petite usine de constructions mécaniques créée avec un capital de 650.000 francs, et qui s'installe dans un atelier pris en location. Avec les 650.000 francs qui constituent le capital, on va acheter des machines 100.000 fr., des matières premières pour 150.000 francs. Par conséquent, il reste en caisse 400.000 francs. Voici quel sera le bilan d'entrée :

Actif :		*Passif :*	
Machines	100.000 fr.	Capital (1)	650.000 fr.
Matières premières...	150.000		
Caisse...............	400.000		
Total :	650.000	Total :	650.000

(1) **Le capital figure** comme contre-partie des trois éléments d'actif **qu'il a permis d'acquérir. Il est** en même temps un élément du passif, car

Mais on s'aperçoit qu'on a oublié d'acheter certaines machines ; on les achète pour 50.000 francs. Cette opération fait jouer deux comptes : le compte Machines, qui augmente de 50.000 francs, et le compte Caisse, qui diminue de 50.000 francs. Et voici le bilan :

Actif.	fr.	*Passif :*	fr.
Machines	150.000	Capital	650.000
Matières premières	150.000		
Caisse	350.000		
Total :	650.000	Total :	650.000

Nous mettons l'usine en route. Les matières premières sortent du magasin et viennent dans un nouveau compte, le compte des Produits fabriqués. Des salaires et des frais généraux sortent du compte Caisse et entrent aussi dans le compte Produits fabriqués.

Arrêtons quand toutes les matières premières sont employées [1], et admettons qu'à ce moment on ait payé 200.000 fr. de salaires et 100.000 fr. de frais généraux. Le compte Produits fabriqués aura reçu :

$$150.000 + 200.000 + 100.000 = 450.000.$$

Le compte Caisse sera devenu :

$$350.000 - 200.000 - 100.000 = 50.000.$$

Le bilan sera alors :

Actif :		*Passif :*	
Machines	150.000	Capital	650.000
Matières premières	—		
Caisse	50.000		
Produits fabriqués	450.000		
Total :	650.000	Total :	650.000

Notons ici que le compte Produits fabriqués représente le *prix de revient* des produits détenus, prix de revient qui est la somme des matières, des salaires, et des frais généraux.

---

une entreprise a une personnalité séparée de ses actionnaires : elle *doit* à ses actionnaires le capital que ceux-ci lui ont fourni.

(1) Bien entendu, dans l'industrie, on ne laisse jamais le stock de matières premières s'épuiser, et on se réapprovisionne au fur et à mesure de la fabrication.

Notons encore que tous les mouvements effectués jusqu'ici dans l'entreprise n'ont pas modifié le total de notre actif, non plus que celui de notre passif, de sorte que notre entreprise reste la même comme situation de fortune. Jusqu'à présent, le bénéfice (ou la perte) n'a pas pris naissance : nous avons eu simplement une modification de la distribution des chapitres de l'actif ; les sommes ont passé d'un compte à l'autre.

Mais allons plus loin. Les objets produits, des carburateurs par exemple, ont eu un prix de revient, comme on a vu, de 450.000 francs. Ils sont en magasin. Si nous les vendons, que va-t-il se passer ? Nous vendons les carburateurs au prix de 500.000 francs. Cette opération fait jouer deux comptes : le compte Produits fabriqués, qui devient nul puisque les carburateurs quittent l'usine, et le compte Caisse, qui reçoit 500.000 francs. Le bilan devient :

Actif :		*Passif :*	
Machines	150.000	Capital	650.000
Matières premières	—		
Caisse	550.000		
Produits fabriqués	—		
Total :	700.000	Total :	650.000

Vous voyez que notre actif est brusquement devenu supérieur de 50.000 francs au passif : il y a eu *naissance* d'un *bénéfice* de 50.000 francs.

Et ces 50.000 francs, excédent de l'actif sur le passif, sont en même temps l'excédent du prix de vente (500.000 francs) sur le prix de revient (450.000 francs), de sorte que le bilan peut être présenté comme il suit :

Actif :		*Passif :*		
Machines	150.000	Capital		650.000
Matières premières	—			
Caisse	550.000	Profits et Pertes :		
Produits fabriqués	—	Ventes	500.000	
		Revient	450.000	
		Bénéfice	50.000	50.000
Total :	700.000	Total :		700.000

Ce bilan de fin d'exercice [1] est l'aboutissement de toute la comptabilité de l'exercice. Il résulte du bilan d'entrée, qui a été modifié successivement par les passations d'écriture correspondant à tous les mouvements élémentaires qui se sont produits dans l'usine pendant l'exercice.

Le bilan ainsi établi est-il exact ? Au point de vue comptable, oui. Au point de vue réel, non. La comptabilité a en effet un « défaut de la cuirasse ». Les mouvements sont portés à sa connaissance par des bons ou pièces, signés des divers chefs de service : bons du magasinier, indiquant les entrées et sorties du magasin, factures des fournisseurs, feuilles de salaires, bons de caisse, bordereaux de banque, etc... Elle ne peut enregistrer que les mouvements qui lui sont signalés par des pièces de ce genre.

Or il y a des mouvements qui ne peuvent venir, par ce moyen, à la connaissance du comptable. Quels sont ces mouvements ?

D'abord l'usure des bâtiments, des machines, de l'outillage. Tout s'use dans une usine : les bâtiments se détériorent peu à peu, les paliers, les pistons des machines s'usent peu à peu par le frottement ; même les parties immobiles se rouillent. Tous les mouvements infiniment petits qui constituent cette usure, cette détérioration viennent incessamment modifier la valeur de l'actif de l'usine. Ces mouvements ne sont pas normalement signalés à la comptabilité. L'usure des bâtiments se traduit par des millions de petites particules de plâtre, de mortier, de brique, qui tombent en effritant le mur : il n'y a pas de bons pour transmettre ces mouvements élémentaires minuscules à la comptabilité : et cependant, en fin d'exercice, il nous faut en tenir compte au bilan, sinon notre bilan n'est pas exact. Il faut donc rectifier le bilan par ce qu'on appelle l'*amortissement*. Le calcul de l'amortissement est œuvre de l'architecte ou de l'ingénieur, qui indiqueront au comptable de quelle somme il faut *amortir*

(1) Dans la présentation du bilan, on reproduit souvent, dans un tableau séparé dit *compte de Profits et Pertes* le détail des comptes de résultats, et le bilan ne contient que le solde de ce compte.



chaque année la valeur de chaque élément de l'usine. Muni de ce renseignement, le comptable rectifiera les chapitres correspondant de l'actif. Chaque rectification fera jouer deux comptes : le compte de l'élément à amortir, d'une part, et le compte Prix de revient, d'autre part. Car il est juste d'imputer à chaque objet fabriqué l'usure de la machine qui a servi à le fabriquer et des bâtiments dans lesquels il a été fabriqué (1). L'usure de l'usine est ainsi corrigée au bilan par l'emploi de l'amortissement.

D'autres mouvements, invisibles pour la comptabilité, se produisent encore dans une entreprise. Par exemple, dans les magasins se trouvent des bonbonnes d'alcool ou d'essence. Malgré toutes les précautions, ces liquides s'évaporent peu à peu, sans qu'aucun bon en fasse part au comptable. De même, certaines marchandises se détériorent en magasin. De même encore, dans toute usine, il y a des vols, vols d'outils, de morceaux de cuivre ou de plomb, etc... ; or le voleur ne va pas établir un bon pour avertir la comptabilité... Toutes ces diminutions dans l'actif de l'usine doivent cependant être évaluées, afin que le bilan en tienne compte. Elles sont établies par l'opération qu'on appelle l'*inventaire*. L'inventaire est fait annuellement, quelquefois semestriellement. Il porte sur tous les éléments de l'actif. Ses résultats amènent à rectifier le bilan, en modifiant simultanément les éléments de l'actif et les comptes du prix de revient.

C'est ainsi que, par le jeu de l'amortissement et de l'inventaire, le comptable peut avoir connaissance de tous les mouvements qui lui avaient échappé, et qu'il peut, après les avoir inscrits, établir définitivement le bilan et le compte de Profits et Pertes.

---

(1) Il ne faut pas confondre amortissement et entretien. Une machine, même très bien entretenue, s'use peu à peu. Au bout de quelques années, elle est devenue une vieille machine, à moins bon rendement ; en outre, elle est démodée et inférieure aux récents modèles. Quelques années encore, et il faut la mettre à la ferraille. — A ce moment, l'amortissement, s'il a été fait régulièrement, aura peu à peu constitué une réserve permettant d'acheter la machine neuve qui remplacera la vieille machine.

Tout bilan peut se résumer comme il suit :

Actif:		*Passif :*		
Immobilisations (bâtiments, outillages, etc.)	A	Capital		E
Matières premières, produits	B	Dettes envers les tiers		F
Créances	C	Réserves		G
Caisse	D	Profits et Pertes :		
		Ventes	H	
		Revient	I	
		Bénéfices	H-I.	H-I
Total :	T	Total :		T

Il y a, comme vous le voyez, deux espèces de comptes :

1re espèce : les comptes de valeurs proprement dites, actives (immobilisations, matières, caisse, créances) ou passives (capital, dettes, réserves) ;

2e espèce : les comptes de profits et pertes, ou comptes de résultats (ventes, prix de revient ou dépenses de fabrication, etc...).

Quand, tout à l'heure, avant de commencer notre exploitation, nous avons acheté 50.000 francs de machines, ce sont deux comptes de la première espèce qui ont joué : le compte Machines et le compte Caisse. Il n'en est résulté ni bénéfice ni perte pour l'entreprise.

Mais, quand nous avons effectué la vente des carburateurs, les deux comptes qui ont joué ont été un compte de la première espèce (compte Caisse) et un compte de résultats ou de seconde espèce (compte Ventes). Et il en est résulté un bénéfice ; il aurait pu en résulter une perte.

De même, quand la caisse paye un salaire, c'est encore un compte de première espèce (Caisse) et un compte de seconde espèce (Produits fabriqués ou Prix de revient) qui jouent. Et notre bénéfice en sera affecté quand, en rapprochant le compte Ventes du compte Prix de revient, nous voudrons chiffrer le résultat.

Cette différence entre les deux espèces de comptes est fondamentale, et elle amène, en particulier, la distinction indispensable qu'il faut faire entre ce qu'on appelle les *comptes d'immobilisation* (ou de premier établissement) et les *comptes de résul-*

tats (comptes de profits et pertes ou comptes d'exploitation). Une dépense d'immobilisation (achat d'une machine par exemple) n'influe en rien sur le bénéfice, mais le bénéfice est fonction directe de toute dépense d'exploitation.

Prenons un exemple vulgaire. Voici une cuisinière à qui la maîtresse de maison donne de l'argent pour les achats de la journée, et qui achète un gigot, du beurre, des pommes de terre, etc..., et une bassine à faire des confitures. La cuisinière inscrit successivement sur son livre tous ces achats, et c'est très bien, car ce que désire la maîtresse de maison, c'est savoir si l'argent qu'elle a remis a été dépensé et de quelle façon. Mais, une fois qu'elle a en main le livre de sa cuisinière, si elle veut savoir quelle somme on dépense chez elle chaque jour pour la nourriture (le prix de revient journalier de la nourriture), il lui faudra bien distinguer entre le gigot, le beurre et les pommes de terre, qui sont dépenses d'exploitation, et la bassine, qui est dépense d'immobilisation (ou de premier établissement) et qui servira pendant des années à faire des confitures.

Cette maîtresse de maison est, si j'ose dire, comme le parlement avant la réforme de 1923. Le parlement se contentait de vérifier que les sommes mises au budget des P.T.T. étaient bien dépensées régulièrement. Maintenant, le parlement veut séparer, parmi les dépenses des P.T.T., celles qui sont d'exploitation, de celles qui sont de premier établissement. Les premières feront connaître le prix de revient du service des P.T.T. ; les secondes feront connaître les augmentations successives de l'actif immobilisé : constructions, matériel, lignes, etc...

Revenons à notre comparaison. De temps à autre, la maîtresse de maison reçoit en cadeau des bourriches de gibier. Eh bien ! si elle veut avoir le prix de revient exact de la nourriture dans son ménage, elle devra ajouter la valeur du gibier aux achats faits par sa cuisinière.

De façon analogue, jusqu'en 1923, certaines dépenses des P.T.T. étaient payées par d'autres ministères, notamment le ministère des Finances. Désormais, ces dépenses entreront, comme il est logique, dans les dépenses des P.T.T.. Inverse-

ment, les P.T.T. rendaient gratuitement des services à d'autres administrations (transport de correspondance en franchise, par exemple). Désormais les P.T.T. seront crédités de la valeur de ces services.

Revenons encore à notre cuisinière : la maîtresse de maison la charge de payer une note de couturière de 600 francs, pour une robe fournie l'année dernière. Ces 600 francs ne doivent pas venir grossir le budget de nourriture ; c'est bien évident. En outre, ils ne doivent même pas entrer dans le budget de cette année : ils ont dû figurer dans les dépenses dès l'année dernière, au moment où la robe a été livrée, et avoir pour contre-partie, non pas une sortie de caisse, mais une inscription de dette dans le bilan. C'est le compte de Profits et Pertes de l'an dernier qui a dû en subir la charge. Cette année quand on va payer la facture, c'est une somme qui sortira de caisse, mais en même temps une dette qui s'effacera : opération de trésorerie qui ne fait pas jouer le compte de Profits et Pertes.

Or, jusqu'ici, chaque dépense des P.T.T. était inscrite comme dépense de l'exercice qui la soldait, et non comme dépense de l'exercice qui en devait porter la charge.

Messieurs, je m'excuse d'avoir insisté, dans cette première conférence, sur les bases générales de la comptabilité : leur connaissance rendra facile l'examen de la réforme du 30 juin 1923, qui sera l'objet de la seconde conférence.

(*A suivre.*)

COMPARAISON DE TRÈS GRANDES RÉSISTANCES PAR LA MÉTHODE BEAUVAIS

ET

APPLICATION A L'ÉTUDE DES SOUDURES DE LA GUTTA sur un câble sous-marin,

Par J. JACOB et M. BAYARD,
Ingénieurs des Postes et Télégraphes.

I. Introduction.

La mesure des grandes résistances s'effectue en général par la méthode de comparaison.

Les difficultés inhérentes à cette méthode résident dans l'obligation d'éliminer soigneusement les pertes de l'installation (surtout si ces pertes sont de l'ordre des courants à observer), et dans le choix de l'appareil de mesure.

Lorsqu'il s'agit d'étudier des résistances d'isolement de l'ordre d'un million de mégohms (1), l'appréciation de la perte avec une pile de 500 volts ne donnerait une déviation de quelques millimètres qu'avec un galvanomètre Thomson au voisinage de la limite de sensibilité, avec une précision illusoire.

Il faut alors employer un électromètre ; mais un tel appareil (surtout l'électromètre Moulins) est d'un montage et d'un fonctionnement trop délicats pour un laboratoire d'usine.

M. Beauvais, par l'emploi ingénieux des propriétés d'une lampe à trois électrodes, a imaginé la méthode d'étude quantitative suivante, qui permet de substituer, à la comparaison de

---

(1) La résistance d'isolement d'un câble sous-marin étant de l'ordre de 1.000 mégohms par kilomètre, une soudure en gutta dont la longueur est de 50 centimètres à une résistance d'isolement de l'ordre de 2 millions de mégohms.



déviations, une comparaison (plus facile) de temps lus sur un chronomètre.

II. Principe de la méthode.

La caractéristique du courant grille d'une lampe à trois électrodes (c'est-à-dire la courbe construite en prenant pour abscisses les différences de potentiel v_g entre la grille et le filament et pour ordonnées le courant i_g qui va de la grille au filament) a la forme représentée sur la figure 1.

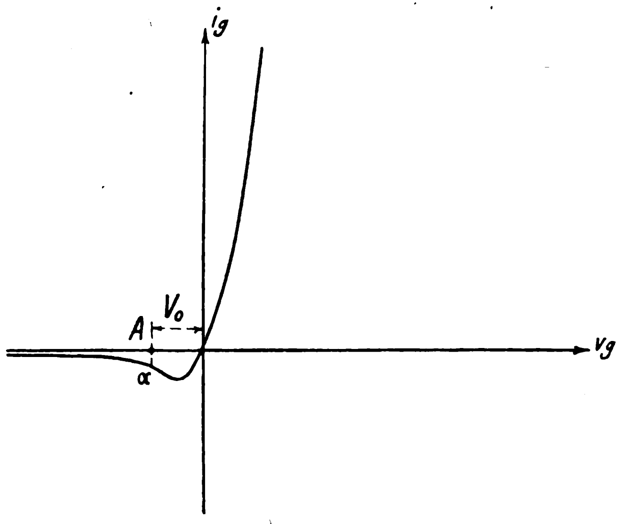


Fig. 1.

On voit sur cette courbe que, si la grille est fortement négative par rapport au filament, le courant i_g est très faible et sensiblement constant. Pour une certaine valeur V_0 du potentiel grille, on voit (en A) que le courant i_g se met à varier relativement brusquement; c'est sur ce phénomène peu connu qu'est basée la méthode de M. Georges Beauvais pour la comparaison des très hautes résistances, notamment pour l'essai d'isolement d'un câble sous-marin aux soudures qui réunissent les âmes.

Le montage est représenté sur la figure 2. La soudure A est placée dans une cuve B parfaitement isolée, remplie d'eau, et dans laquelle plonge une plaque métallique C. Celle-ci est reliée à la grille G de la lampe à trois électrodes.

Le filament F est chauffé par l'accumulateur p_2 et relié à la plaque par la pile p_1 et le milliampèremètre mA.

Le conducteur du câble est soigneusement isolé à une extrémité ; l'autre extrémité est reliée au pôle positif de la pile P, de force électromotrice E, dont le pôle négatif est relié au filament. Le courant de cette pile va donc, en passant à travers la soudure, tendre à charger la gutta positivement par rapport au

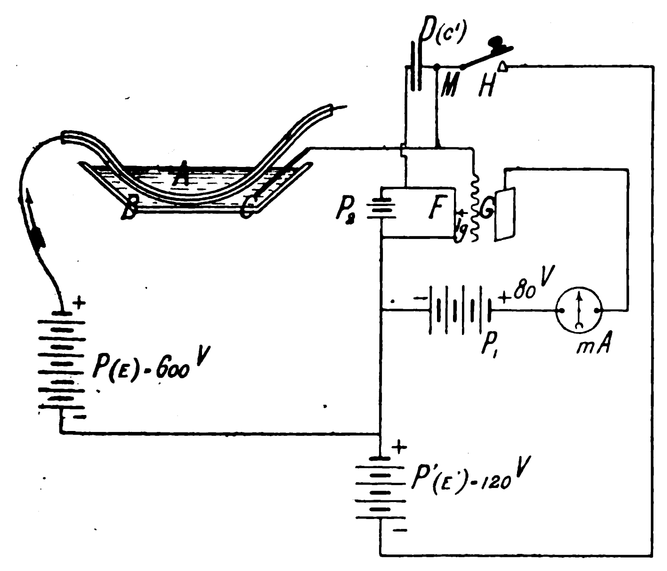


Fig. 2.

filament. Une seconde pile P', de force électromotrice E' élevée, est utilisée : son pôle positif est relié au filament, et son pôle négatif peut être relié au point M de la grille par l'intermédiaire d'un interrupteur H.

Entre le filament et la grille, se trouve monté en dérivation un condensateur D, dépourvu de pertes, et dont nous verrons plus loin la fonction.

III. L'essai.

On abaisse la clef du commutateur H, ce qui a pour effet de charger la grille au potentiel négatif — E' par rapport au filament. On relève alors le commutateur H ; à partir de ce moment,

qui est le moment initial de l'essai, la pile P' se trouve isolée et ne joue plus aucun rôle.

Lá pile P, au contraire, débite de A vers C, à travers la gutta de la soudure A, un courant extrêmement faible, qui a pour effet de faire remonter lentement le potentiel de la grille G par rapport au filament ; lorsque ce potentiel atteint la valeur critique précédemment appelée V_0, la marche du phénomène change brusquement : le courant i_g, passant entre le filament F et la grille G, augmente dans de grandes proportions ; le potentiel de la grille varie également, entraînant une variation amplifiée du courant filament-plaque qui passe dans le milliampèremètre, dont l'aiguille dévie alors.

Le temps t, qui s'est écoulé entre le *moment* initial (ouverture de H) et celui où la grille atteint le potentiel critique V_0 et où l'aiguille du milliampèremètre commence à se déplacer, dépend visiblement de la résistance d'isolement de la soudure et sera d'autant plus faible que cette résistance sera elle-même plus faible. Si donc, laissant toutes choses égales, on fait une seconde expérience en substituant à la soudure une certaine longueur de câble sur laquelle aucune soudure n'a été faite, et si le temps t' qui s'écoule entre le moment initial et le moment où l'aiguille de mA se déplace, est inférieur au temps t précédemment observé, c'est que l'isolement du joint est supérieur à celui de la portion de câble étalon.

IV. Calcul.

On peut maintenant traiter la question par le calcul. Soit I, le courant qui parcourt le circuit pile P — gutta entre le moment initial et celui où le milliampèremètre se déplace.

Soient R, la résistance d'isolement de la section de câble A immergée dans la cuve B,

C, la capacité d'isolement,

C', la capacité totale de la grille de la lampe à trois électrodes et du condensateur D montés en dérivation,

V, la différence de potentiel entre le conducteur du câble et l'eau de la cuve B,

V' la différence de potentiel entre le filament et la grille (V' est aussi la différence de potentiel entre les armatures du condensateur D).

On a d'abord

$$V + V' = E. \tag{1}$$

Le courant I se divise en deux parties : la première charge la section A comme un condensateur de capacité C ; l'intensité i de cette portion de courant est donnée par l'équation :

$dq = i\,dt = C\,dV$ (q étant la charge du condensateur),

d'où : $i = C \dfrac{dV}{dt}$.

La seconde partie i' du courant I est celle qui passe par la gutta ; elle a visiblement pour valeur :

$$i' = \frac{V}{R}.$$

Donc :

$$I = i + i' = C \frac{dV}{dt} + \frac{V}{R}. \tag{2}$$

De même, le courant I se divise en deux parties dans la lampe à trois électrodes : une partie sert à charger la grille de la lampe et le condensateur D ; elle a pour valeur :

$$C' \frac{dV'}{dt}.$$

L'autre passe entre le filament et la grille seulement ; *puisque le condensateur D n'a pas de pertes*, elle a pour valeur ce que nous avons appelé i_g.

Nous avons alors :

$$I = C' \frac{dV'}{dt} + i_g. \tag{3}$$

Des équations (1), (2), (3), on tire aisément :

$$(C + C') \frac{dV}{dt} + \frac{V'}{R} = \frac{E}{R} - i_g. \tag{4}$$

Pendant le temps considéré, c'est-à-dire entre le moment initial et celui où V' atteint la valeur critique V_0, la valeur de i_g

peut être considérée comme constante, d'après la figure 1 ; on intègre donc facilement l'équation (4), et l'on a :

$$V' = E - Ri_g + K e^{-\frac{t}{R(C+C')}}. \qquad (5)$$

Pour déterminer la constante K, écrivons qu'à l'instant initial, on a :

$$V' = -E';$$

nous obtenons :

$$-E' = E - Ri_g + K.$$

Donc :

$$V' = (E - Ri_g) - (E + E' - Ri_g) e^{-\frac{t}{(C+C')R}}. \qquad (6)$$

Si l'on étalonne le triode au moyen d'un électromètre de façon à connaître la valeur de V_0, cette équation permettrait, connaissant t, de déterminer R en valeur absolue ; mais, la méthode étant avant tout une méthode de comparaison, la formule (6) démontre *l'utilité du condensateur D* ; si ce condensateur n'existait pas, C′ représenterait seulement la capacité du triode, qui est de l'ordre de 10^{-5} microfarads (la capacité C de $0^m,50$ de câble ayant $0^{\mu F},35$ au mille marin sera : $\frac{0,5 \times 0,35}{1852}$, peu différent de 10^{-4} microfarads). C′ serait donc négligeable vis-à-vis de C, et l'exponentielle entrant dans la formule (6) prendrait la forme :

$$e^{-\frac{t}{CR}}.$$

Mais la quantité CR ne dépend que de la nature du diélectrique et serait la même sur un câble dont la soudure serait bien centrée que sur un câble dont le conducteur serait excentré à l'intérieur de la soudure en gutta ; la méthode ne donnerait pas le résultat cherché.

Si, au contraire, on donne au condensateur D une capacité grande vis-à-vis de C ($D = 3 \times 10^{-3}$ microfarads), C est négligeable devant C′, et la formule (6) peut s'écrire :

$$V' = (E - Ri_g) - (E + E' - Ri_g) e^{-\frac{t}{C'R}}. \qquad (7)$$

Elle ne dépend plus que de R, et c'est donc vraiment l'isolement de la soudure qui est comparée à l'isolement du câble.

Nous avons supposé le condensateur D dépourvu de pertes. En réalité, ses pertes sont très faibles, mais non négligeables par rapport au courant traversant, sous 600 volts, 50 centimètres de câble, et par rapport au courant de grille i_g. Admettons que les pertes du condensateur soient proportionnelles à la différence de potentiel V′, soit : $\frac{V'}{R'}$. Il est facile de voir que la considération de ces pertes conduit à remplacer l'équation (6) par :

$$V' = (E - R i_g) - (E + E' - R i_g)\, e^{\frac{-t(R+R')}{(C+C')RR'}} ; \quad (6\,bis)$$

et, en négligeant C devant C′, on a :

$$V' = (E - R i_g) - (E + E' - R i_g)\, e^{\frac{-t(R+R')}{C'RR'}} . \quad (7\,bis)$$

Le temps T, correspondant à la valeur $V' = -V_0$ pour laquelle l'aiguille du milliampèremètre dévie, a pour expression :

$$T = \frac{C'R'R}{R+R'} \operatorname{Log} \frac{E + E' - R i_g}{V_0 + E - R i_g} .$$

Ce temps, qui est le temps mesuré, dépend des pertes du condensateur D tout autant que des pertes de la gutta. Cette méthode ne peut donc servir à des mesures quantitatives de la résistance d'isolement; mais, si les pertes du condensateur D restent sensiblement constantes, la comparaison des temps T_1 et T_2, obtenus respectivement avec une soudure et une longueur égale de câble, donnera des indications précieuses sur la qualité de la soudure.

V. Application de la méthode aux essais des soudures du cable Marseille-Philippeville et discussion des résultats obtenus.

1° Le montage et la manipulation. — Pratiquement, le montage employé est robuste et présente une grande sécurité de manipulation.

L'essai peut être fait près de la cuve, où les âmes, recou-

vertes des deux couches de jute tanné, sont lovées après sortie de la recouvreuse, ce qui permet de ne laisser en dehors de l'eau qu'une assez courte longueur de câble; lorsqu'il faut transporter le joint à essayer loin de la cuve (ce qui doit être fait pour l'essai à l'électromètre), l'âme peut sortir du matelas de jute, lequel doit être refait.

Électriquement, la manipulation simultanée du commutateur H et d'un chronomètre est facile ; il en est de même pour l'obser-

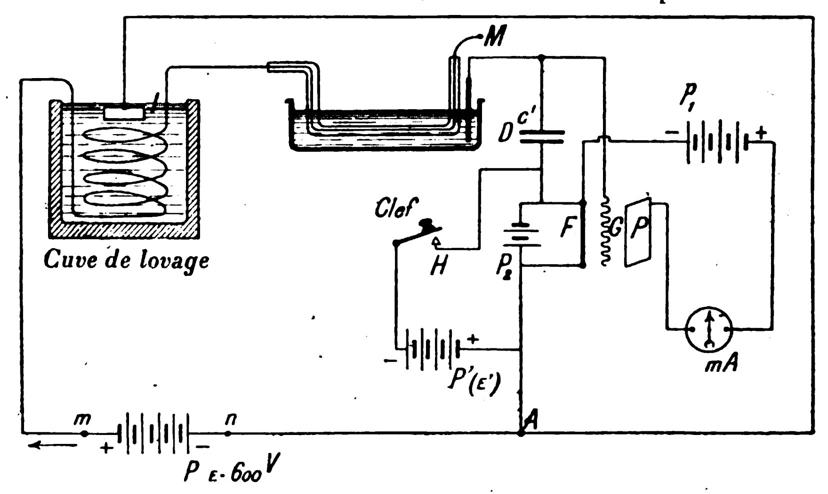


Fig. 3.

vation simultanée du milliampèremètre et du chronomètre, à condition que les lectures se fassent au moment où l'aiguille du milliampèremètre, qui se déplace assez lentement, passe sur une division fixée à l'avance ($0^{mA},5$, par exemple), et non au moment où l'aiguille commence à se déplacer.

2° **Les pertes.** — L'isolement de l'installation doit faire l'objet d'essais spéciaux avant l'introduction, dans le circuit, d'un joint ou d'une portion de câble.

Ces essais ont prouvé que les isolants devaient être choisis avec le plus grand soin : l'isolement à l'ambre, du condensateur et de la petite cuve où est placée la soudure, a donné des résultats supérieurs à ceux obtenus avec un isolement à l'orcha, et a permis des observations d'une certaine durée; encore faut-il

assécher soigneusement de temps en temps toutes les parties isolantes de l'installation (y compris les portions de câble situées hors des cuves).

Les temps mesurés restent du même ordre au cours de l'étude d'une soudure, mais varièrent à St-Tropez très sensiblement d'un jour à l'autre, ou suivant que l'essai avait lieu dans la matinée, vers midi, ou dans la soirée.

Les facteurs principaux de ces variations sont :

1° l'humidité de la plaque de marbre et des rondelles d'ambre supportant le condensateur D (et augmentant les pertes de D, c'est-à-dire agissant comme une augmentation de i_g) ; or les pertes du condensateur D sont très gênantes pour la valeur de la méthode, basée en définitive sur la régularité du courant i_g;

2° l'humidité superficielle du câble entre la cuve de lovage et la petite cuve contenant la soudure en expérience, humidité qui peut déterminer un courant de convection le long du câble, courant qui agit comme une diminution de la résistance d'isolement entre la soudure A et la plaque C, ou qui peut influer sur la charge de G si le point M n'est pas très éloigné de D.

Pour éliminer par différence l'influence des courants de fuite superficielle, il faut commencer par définir le potentiel de l'eau de la cuve dans laquelle est lové le câble, et s'assurer que le potentiel de cette eau est différent de celui du cuivre de l'âme ; dans ce but, M. Beauvais proposa de plonger une plaque métallique dans l'eau de la cuve de lovage et de relier métalliquement cette plaque au pôle commun des piles E et E' ; le schéma de la figure 3 fut réalisé.

3° **La lampe.** — L'état de la lampe à trois électrodes influe sur l'essai; il est bon de n'accepter que des chiffres obtenus avec une lampe ayant déjà brûlé quelque temps (une demi-heure), afin qu'elle ait bien pris ses constantes (lampe durcie). Le rhéostat de chauffage de la lampe doit avoir une position fixe au cours d'essais comparables : l'augmentation, par sa manœuvre, du courant i_g hâte le départ de l'aiguille du milliampèremètre et permet d'effectuer des observations présentant, pour le contrôle,

une plus grande sécurité ; cela permet d'autre part de diminuer la tension de la pile P' (de 120 à 80 volts), ce qui revient à diminuer l'importance des fuites du condensateur.

4° **La gutta.** — Nous avons, pour simplifier, supposé que la gutta obéissait à la loi d'Ohm, et représenté la résistance d'isolement de la section considérée par R.

En réalité, elle se distingue, pour deux raisons, d'une résistance ohmique :

a) D'une part, après l'application d'une certaine différence de potentiel entre le cuivre et l'eau contenant le câble, le régime de courant constant, correspondant à la loi d'Ohm, est très long à s'établir. Par suite de la polarisation diélectrique, le courant, d'abord assez intense, décroît et décroît de plus en plus lentement. Voici un tableau de charge observé sur une âme quinze jours après sa fabrication, à la température de 24° et sous une différence de potentiel de 600 volts ; ce tableau indique la valeur du rapport de la déviation au temps *t*, à la déviation au bout de 2 minutes d'électrification :

Temps =	1min	1m 30s	2m	3m	4m	5m	6m	7m	8m	9m
$\frac{\text{Déviation au temps } t}{\text{Déviation après } 2^{\text{min}}}$ =	1,081	1,031	1	0,961	0,937	0,920	0,906	0,896	0,887	0,879

Dans l'industrie des câbles sous-marins, on adopte, par convention, comme valeur de la résistance d'isolement, celle d'une résistance qui sous la même tension laisserait passer le même courant que la gutta, 2 minutes après l'application de la force électromotrice.

Or la méthode de M. Beauvais fait intervenir à la fois le temps et la valeur de l'isolement : ces deux notions ne peuvent être conciliées qu'en opérant après un temps de charge assez considérable de façon que le courant traversant la gutta ait pris sensiblement sa valeur asymptotique. Dans la pratique, l'essai est valable quand la pile de 600 volts a chargé le câble pendant 15 minutes avant que ne commence l'essai.

b) En outre, la gutta se distingue d'une résistance ohmique par le fait que la valeur asymptotique du courant n'est pas propor-

tionnelle à la différence de potentiel (elle croît beaucoup plus vite) et que la forme de la courbe de charge dépend de la tension.

VI. Quelques chiffres.

Essai du 15 juillet 1924. — Soudure unissant l'âme n° 19 à l'âme n° 20.

1° Essai de la soudure. 30 secondes après sa mise sous tension de 625 volts, passage de l'aiguille du milliampèremètre à la division 0,5 au temps : 8 minutes 25 secondes.

2° Même essai après 18 minutes de mise sous tension. Passage de l'aiguille à 0,5 au temps : 9 minutes 50 secondes.

3° Essai de la portion du même câble dépourvue de soudure, mais de longueur égale à celle de la soudure ($0^m,50$). Après plus de 18 minutes d'électrisation, temps observé : 11 minutes 35 secondes.

4° Essai d'un point défectueux (préparé par un ouvrier inexpert); temps observé : 4 minutes.

Soudure 19/20 acceptée.

Essai du 4 août 1924. — Essai de l'installation sans la soudure; temps observé : 19 minutes.

Essai de l'installation avec la soudure; avant l'application des 625 volts, temps observé : 15 minutes.

Mise sous tension de 625 volts :

Soudure 51/56 :

1° avec la soudure (tension ininterrompue au cours des essais)	1er essai : temps observé :	6 min 40 s
	2e essai : —	8 min 50 s
	3e essai : —	8 min 30 s
2° avec une portion du câble dépourvue de soudure	1er essai : —	8 min 25 s
	2e essai : —	8 min 10

Soudure 41/38 : Les temps observés ne sont plus que de l'ordre de .... 4 minutes, mais comparables.

Essais du 19 août. — Essais de l'installation : plus de 20 minutes (mistral).

Soudure 66/75 : Les temps observés, avec la soudure et le câble témoin, sont de l'ordre de 12 minutes.

Des essais comparatifs, effectués avec un électromètre Moulins, ont confirmé les résultats obtenus, et prouvé l'intérêt de la méthode de M. G. Beauvais.

INSTRUMENTS DE MESURE DE COURANTS ALTERNATIFS EMPLOYÉS EN TÉLÉPHONIE,

Par P. KASPARECK.

RÉSUMÉ.

Les conditions de plus en plus strictes que l'on exige maintenant pour le service des câbles téléphoniques, ont nécessité la création d'appareillages techniques pour mesures de courants alternatifs, qui, suivant leurs utilisations particulières, peuvent être divisés en plusieurs groupes.

I. — Générateurs de courants alternatifs et organes accessoires :
Oscillateur à lampe,
Ronfleur magnétique,
Ronfleur à diapason,
Machine de Franke,
Grand filtre électrique,
Petit filtre électrique,
Grand dispositif d'équilibrage,
Petit dispositif d'équilibrage,
Appareil de mesure de la fréquence.

II. — Instruments de mesure pour la surveillance en cours de fabrication des câbles en usine :
Pont de Wagner pour la mesure des pertes diélectriques,
Pont pour la mesure de l'impédance,
Boite de protection,
Pont de mesure des faibles capacités,
Boîtes de mesures pour lignes artificielles de couplage par cross-talk,
Petit dispositif de mesure d'équilibrage d'induction mutuelle,
Petit pont de mesure de couplage.

III. — Appareillages de mesures pendant la mise en place des câbles :
Grand pont pour la mesure de couplage du cross-talk,
Grand pont de mesure du couplage,

Dispositif de terminaison pour câbles combinés.

IV. — Instruments de mesures pour la vérification et la réception des installations téléphoniques :

Pont pour la mesure de l'impédance,
Compensateur combiné avec la machine de Franke,
Résistance d'interpolation,
Voltmètre amplificateur à lampe,
Ligne étalon artificielle variable,
— — — fixe,
Dispositif de mesure du coefficient d'affaiblissement,
Pont de mesure d'affaiblissement,
Dispositif auxiliaire pour mesure de circuits combinés,
Appareil pour l'essai d'affaiblissement pour montage dans les multiples téléphoniques.
Appareil pour mesure de l'amplification,
— — essai d'équilibrage avec ligne artificielle variable,
Résistance en ponts,
Résistances montées sur bobines.

L'introduction des procédés de pupinisation pour l'augmentation artificielle de l'inductance spécifique dans les lignes téléphoniques, l'emploi de plus en plus répandu des liaisons en service duplex et l'utilisation nouvelle des relais amplificateurs, exigent de telles conditions, que les mesures de laboratoire ne pourraient plus suffire, et obligent à suivre de très près la construction même des câbles.

Au cours de la fabrication, pendant et après la pose du câble, au moment du montage et en cours du service des relais amplificateurs, il est indispensable d'effectuer des mesures en courant alternatif, très précises. Autrefois, les appareillages de mesure étaient compliqués et les essais forcément lents, mais on a remédié à ces inconvénients en construisant des appareils techniques pratiquement utilisables et relativement simples, de telle manière qu'un personnel, même peu exercé, arrive en très peu de temps à effectuer assez rapidement les mesures les plus courantes avec un degré de précision suffisant. Pour atteindre ce but il a été nécessaire, non seulement d'améliorer au fur et à

mesure la partie mécanique des instruments, mais encore de simplifier les méthodes de mesure elles-mêmes.

Nous passerons d'abord en revue les dispositifs destinés à produire les courants alternatifs de fréquence acoustique.

I. — Générateurs de courants alternatifs et organes accessoires

Oscillateur à lampe. — L'oscillateur à lampe (fig. 1 et 2) est surtout destiné aux mesures au laboratoire. Afin d'obtenir une fréquence indépendante de la charge, la maison Siemens et

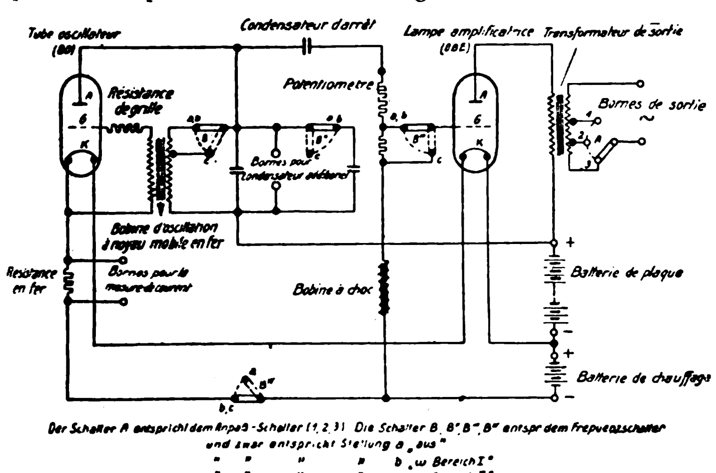


Fig. 1. — Schéma d'oscillateur à lampe.

Halske l'a munie d'un petit générateur d'oscillations et d'une lampe d'amplification. Le petit générateur est constitué par une lampe à une grille à cathode oxyde BO, dont l'énergie oscillatoire est amplifiée par une seconde lampe à une grille à cathode oxyde également, BOE. L'intensité du courant alternatif débité par la lampe génératrice diminuant lorsque la fréquence s'élève, le couplage entre cette lampe et l'amplificatrice s'effectue au moyen d'un condensateur, dans le but de rendre l'amplitude des oscillations sensiblement constantes pour toutes les fréquences. La self du circuit oscillant possède un noyau de fer mobile que l'on enfonce plus ou moins pour obtenir la fréquence voulue. Deux étages d'enroulements, intervalles I et II, permettent, par les

dispositions B des commutateurs indiquées sur la figure schématique, la production de toutes les fréquences qui correspondent

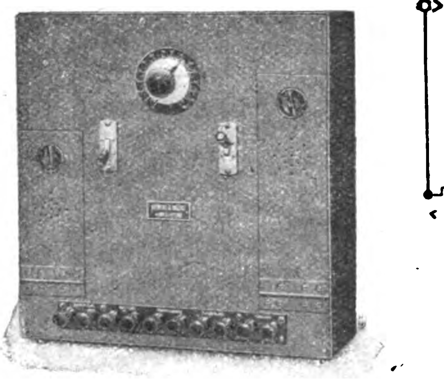


Fig. 2. — Oscillateur à lampe. Éch. 1 : 8,5.

Fig. 3. — Schéma du ronfleur magnétique.

aux pulsations comprises entre 3.000 et 20.000. La puissance en courant alternatif débitée par l'oscillateur à lampe est d'environ $0^{W},50$.

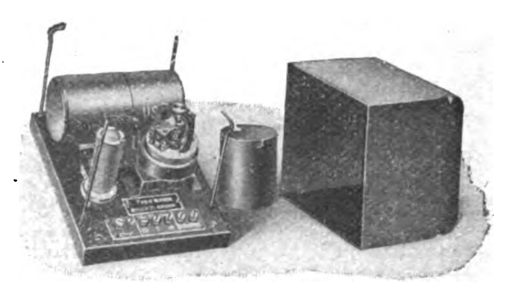


Fig. 4. — Ronfleur magnétique.

L'alimentation de l'appareil nécessite une batterie de chauffage d'environ 8 volts, une intensité de $1^{A},1$, et une tension de courant continu de 220 volts, fournie soit par le réseau ou par une batterie, avec une intensité d'environ 15 milliampères.

Ronfleur magnétique. — Dans le cas de mesures faites à une seule fréquence téléphonique moyenne, par exemple, lors de la pose des câbles, il est avantageux d'utiliser un ronfleur magnétique agissant comme interrupteur automatique. La disposition

des connexions représentée par la fig. 3 comprend un potentiomètre permettant l'utilisation de sources de courant continu de tensions différentes, pouvant varier de 6 à 220 volts, pour l'alimentation de l'appareil. L'intensité absorbée est d'environ 0,25 ampère. Un modèle de construction courante, fonctionnant avec des tensions de 6 et de 24 volts en courant continu est représenté par la fig. 4.

Attendu que les tensions, aux contacts de l'interrupteur automatique, ne sont jamais très élevées, l'appareil peut donc fonctionner sans dérangement pendant un temps très long, et ce n'est qu'après un service de plusieurs mois qu'il est utile de procéder à un nouveau réglage. L'oscillation propre du ressort de l'interrupteur est choisie de telle manière que la fréquence fondamentale du courant alternatif produit, est égale à 5.000. Les harmoniques sont relativement peu importantes, de sorte qu'il est possible d'utiliser cet appareil même pour la mesure de grandeurs dépendant de la fréquence. Avec une résistance utile comprise entre 600 et 2.000 ohms, le débit est de l'ordre de $0^{W},25$.

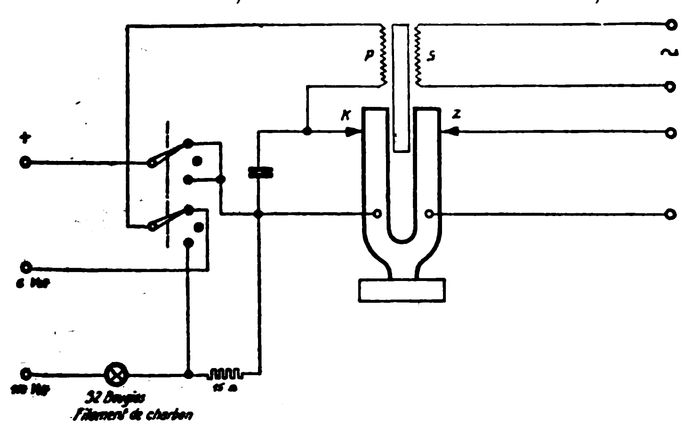


Fig. 4 a. — Schéma du ronfleur à diapason.

Ronfleur à diapason. — Le ronfleur à diapason (fig. 4 *a*) est construit sur le même principe que le ronfleur magnétique, avec cette différence que l'interrupteur automatique à ressort oscillant est remplacé par un diapason en acier. Ce dernier est muni de deux contacts, dont l'un est destiné à assurer le fonctionnement

de l'appareil et l'autre pouvant être utilisé comme interrupteur vibratoire de courant, lorsqu'il s'agira, de déceler dans un téléphone, du courant continu faible, ou bien encore du courant alternatif à fréquences en dehors des limites audibles, comme par exemple, lors des mesures en pont. Le courant alternatif du ronfleur à diapason peut aller jusqu'à environ 0,8 watt, sa consommation de 0,2 à 0,5 ampère. La forme du courant est la même que celle de celui fourni par le ronfleur magnétique; la fréquence est égale à 5.000 périodes par seconde.

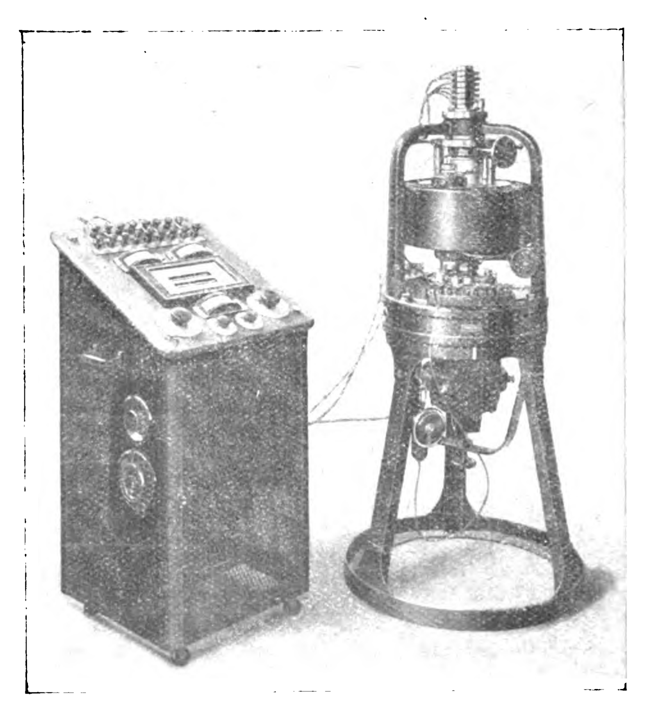


Fig. 5. — Machine de Franke avec son pupitre de commande. Ech. : 1 : 20.

La machine de Franke. — Nous nous bornons à citer, pour être complet, la machine de Franke, qui est suffisamment connue comme génératrice de courants alternatifs dans les mesures téléphoniques.

La figure 5 représente la machine de Franke perfectionnée, munie de son pupitre de commande.

Grand filtre électrique. — Pour obtenir une plus grande précision et pour rendre plus facile beaucoup de mesures, il est plus

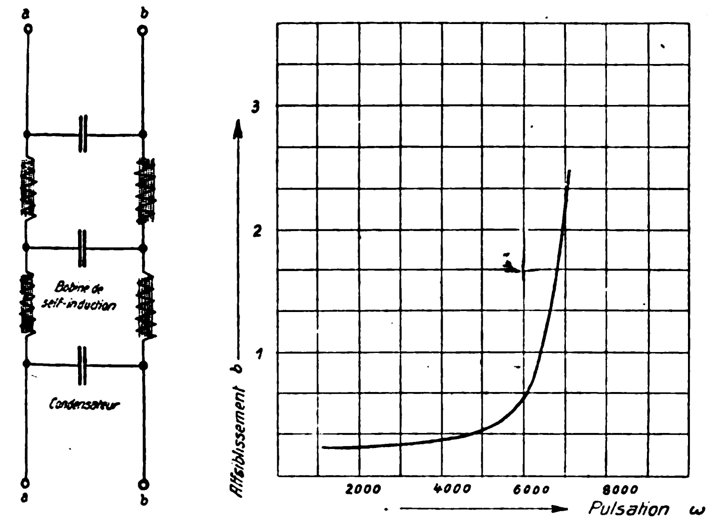


Fig. 6. — Filtrage du courant au moyen du grand filtre électrique.

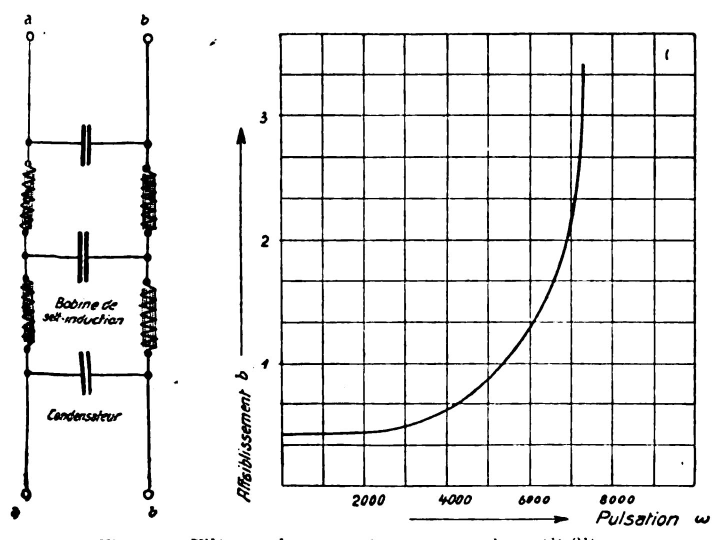


Fig. 7. — Filtrage du courant au moyen du petit filtre.

avantageux d'utiliser des courants de forme sinusoïdale aussi régulière que possible. Déjà par elle-même, la machine de Franke fournit une courbe de tension de forme convenant pour la plu-

part des cas. Pour les autres générateurs de courant, il convient de perfectionner l'allure de la courbe du courant obtenu, et dans ce but on utilise des filtres à deux cellules (fig. 6) qui peuvent être utilisés avec l'oscillateur à lampe ou avec les ronfleurs déjà cités, attendu que l'amortissement croît rapidement avec les oscillations dont la fréquence excède 6.000 périodes par seconde, de telle manière que pratiquement, seule, l'oscillation fondamentale passe. Le grand filtre électrique est enfermé dans un boîtier rectangulaire en bois, d'environ vingt centimètres de côté.

Petit filtre électrique. — Pour certains cas, par exemple, très souvent dans les comparaisons de rendement de transmis-

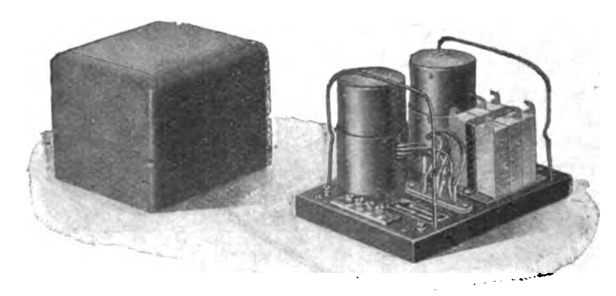


Fig. 8. — Petit filtre électrique.

sion téléphonique (voir p. 487) et pour lesquels on dispose d'une énergie suffisante, le petit filtre électrique suffit pour l'annihilation des harmoniques supérieures gênantes. Cet appareil est établi sur le même principe que le précédent, mais d'exécution plus sommaire (fig. 7 et 8).

Grand dispositif d'équilibrage. — Pour accroître la précision des mesures, il est souvent indispensable que la génératrice ait des constantes électriques symétriques par rapport au sol. Les potentiels d'une source de courant alternatif, par rapport à la terre, sont généralement dépendants des capacités parasites des diverses parties de cette source. L'équilibrage en est acquis, si les deux pôles accusent, sans discontinuité, des tensions égales et de signe contraire, par rapport à la terre. Ceci n'est, en général, pas le cas, pour la plupart des sources de courants

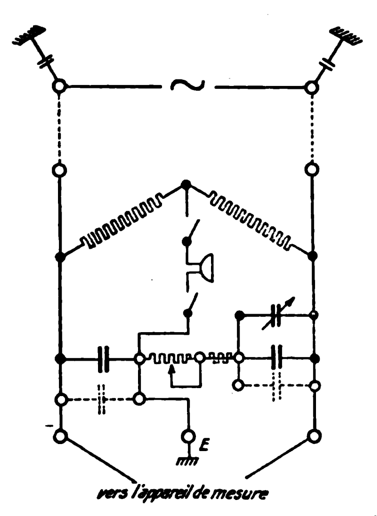


Fig. 9. — Schéma du grand dispositif d'équilibrage.

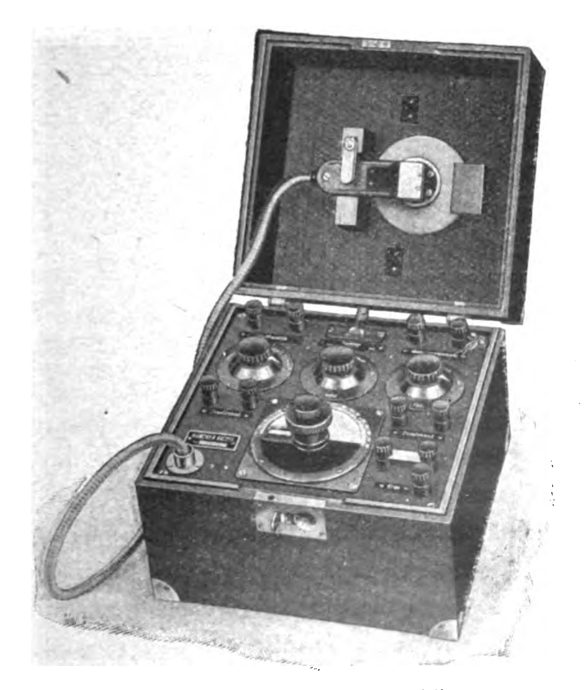


Fig. 10. — Grand dispositif d'équilibrage.

alternatifs. On obtient l'équilibrage nécessaire, au moyen du grand dispositif d'équilibrage (fig. 9 et 10), qui est placé entre la source de courant électrique et l'appareillage de mesure, et qui comporte une disposition connectée en pont, avec condensateur rotatif et résistance réglable, mise à la terre au point E.

En modifiant les dispositions du condensateur et de la résistance jusqu'à ce que le téléphone n'émette plus aucun bruit, on obtiendra l'équilibrage de la source de courant. Puis, on met

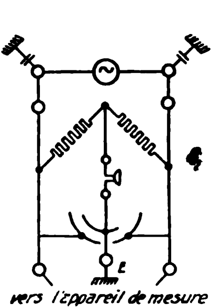


Fig. 11. — Équilibrage d'une source de courant au moyen du petit dispositif d'équilibrage.



Fig. 12. — Petit dispositif d'équilibrage.

hors circuit le récepteur téléphonique, car pour rendre les mesures plus précises, il est toujours préférable que la somme des résistances de mises à la terre, de la source de courant soit aussi grande que possible.

Petit dispositif d'équilibrage. — Pour le cas de sources de courants de faible énergie ou bien pour celles qui, déjà par elles-mêmes, sont sensiblement équilibrées par rapport à la terre, comme les ronfleurs magnétiques, le petit dispositif d'équilibrage sera suffisant (fig. 11 et 12), dont le montage en pont ne comporte, en branche variable, qu'un condensateur double, qui permet d'effectuer le réglage de telle manière que lorsque le son disparaît dans la réception téléphonique, l'équilibrage de la source de courant est accompli.

Appareils de mesure de la fréquence. — Il est souvent indispensable de régler la source de courant alternatif pour des fréquences déterminées, dans des limites très réduites, ou bien encore, au cours de mesures, de déterminer quelle était la fréquence du courant utilisé. L'appareil de mesure de fréquence, dont la figure 13 donne le schéma de principe-montage en pont, R_1 et R_2 représentant des résistances fixes, L_1 et L_2 des self-inductions fixes, R_3 et R_4 des résistances réglables, dont les manettes sont accouplées, de façon que leurs valeurs respectives

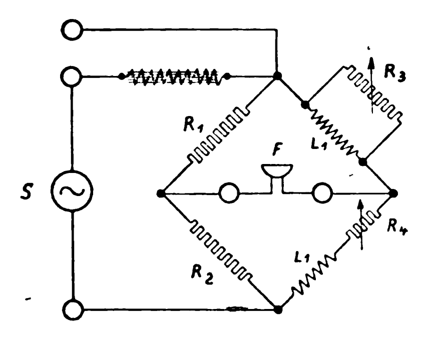


Fig. 13. — Mesure de la fréquence.

soient toujours d'égale grandeur. La mesure s'effectue en déplaçant cette double manette jusqu'à ce que le récepteur téléphonique F n'émette plus aucun bruit. Les valeurs lues sur la résistance donnent la fréquence. L'étendue de mesure comprend les fréquences acoustiques jusqu'à la pulsation 40.000 et la précision peut atteindre, par l'emploi d'un bon récepteur téléphonique environ 1 pour 1.000 de la pulsation, lorsque la consommation de l'appareil est d'environ 1 milliampère.

II. — Instruments de mesure pour la surveillance en cours de fabrication des cables en usine.

Les pertes diélectriques dans les câbles téléphoniques qui produisent en courant alternatif une diminution sensible de la résistance d'isolement, ont perdu sensiblement de leur importance au point de vue de la transmission du courant téléphonique depuis que l'emploi des relais amplificateurs a permis

d'utiliser des conducteurs de faibles diamètres. La valeur des pertes diélectriques peut donc être considérée comme indication des soins apportés à la fabrication du câble, et c'est pourquoi les mesures de ces pertes sont effectuées de façon courante sur les longueurs de câbles prêtes à être livrées. De plus, la détermination exacte de la capacité des longueurs de câbles, dès qu'elles sont posées, est de grande importance.

Pont de Wagner pour la mesure des pertes diélectriques. — La détermination la plus précise de la capacité et des pertes des

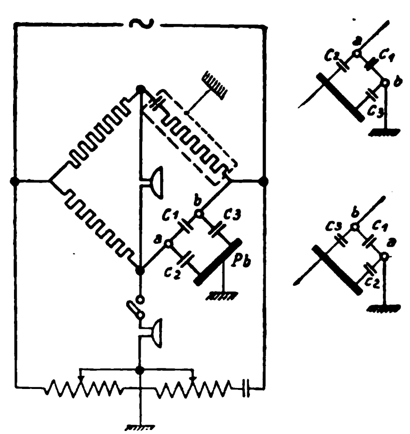


Fig. 14. — Schéma du pont de Wagner pour mesures de pertes diélectriques.

câbles dont la gaine en plomb n'est pas mise à la terre peut être effectuée au moyen du double pont de mesure de Wagner. On sait que pour l'établissement des valeurs de service, il est indispensable d'effectuer trois mesures des capacités partielles et de leurs dérivations, comme il est indiqué à la fig. 14. La figure 15 montre le pont auxiliaire extérieur avec les deux branches du pont principal, le téléphone et les bornes protégées pour le raccordement aux sources de courant. Comme étalon de comparaison, on se sert d'un condensateur à mica, dûment qualibré, un condensateur variable à air permanent et une résistance de précision, qui doivent être montés dans un boîtier mis à la terre.



Fig. 15. — Pont de Wagner pour la mesure des pertes diélectriques.

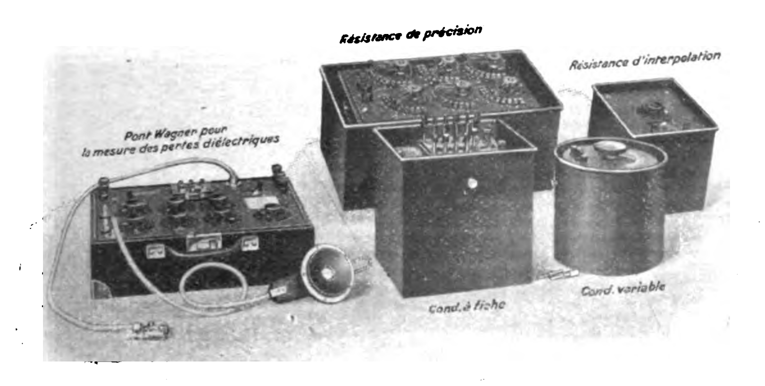


Fig. 16. — Appareillage de Wagner pour la mesure des pertes diélectriques.

Pont pour la mesure de l'impédance. — La pratique du pont de mesure de Wagner, avec ses trois mesures partielles, comprenant chacune plusieurs équilibrages à zéro, étant peu facile et demandant beaucoup de temps, on a étudié et mis au point, ces derniers temps, des dispositifs plus simples remplissant le même but. Au moyen du pont pour la mesure de l'impédance, on obtient par une seule mise à zéro, les valeurs de service de la capacité et de la perte diélectrique, avec une précision pratiquement suffisante, que la gaine en plomb soit mise à la terre ou non (fig. 17).

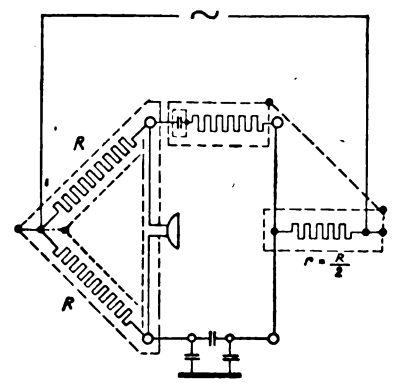


Fig. 17. — Schéma du dispositif de mesure de l'impédance.

La résistance de précision et les condensateurs étalons doivent, comme dans le pont de Wagner, être placés également dans un boîtier de protection, qui toutefois n'est pas mis à la terre, mais est raccordé au sommet du pont. Si l'on utilise comme étalon de comparaison, en dehors de la capacité ou de la résistance, une inductance, on peut, au moyen de ce pont, vérifier les impédances en circuits de câbles, qu'il est indispensable de connaitre. pour déterminer l'affaiblissement et pour juger de l'uniformité du montage de circuits pupinisés.

Les trois résistances en pont R, R, r (fig. 17) sont logées, ainsi qu'un interrupteur, dans une boîte en bois recouverte de tôle (fig. 18). Il est nécessaire, en cas d'utilisation de cet appareillage, de réaliser l'équilibrage des sources de courant, comme il est indiqué à la page 468. Les étalons de comparaison, sont les mêmes que ceux utilisés pour le pont de Wagner.

Boîtes de protection. — Les boîtes de protection indispensables pour les mesures de diélectriques électriques et d'impé-



Fig. 18. — Pont pour la mesure de l'impédance.

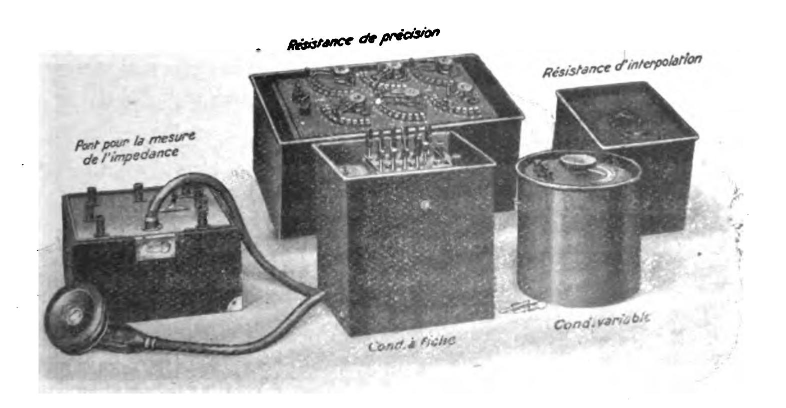


Fig. 19. — Appareillage pour la mesure de l'impédance.

dances sont construites en tôle de zinc et munies d'une borne de raccordement, comme le montrent les fig. 18 et 19.

Pont de mesure des faibles capacités. — Un intérêt particulier s'attache à un petit pont de mesure destiné à déterminer la capacité de très petits condensateurs, comme ceux employés pour l'équilibrage du cross-talk dans les circuits de câbles pupinisés. Ce pont, représenté par la figure 20, comprend un condensateur tournant à plaques, étalonné en $\mu\mu$ F, et des condensateurs addi-

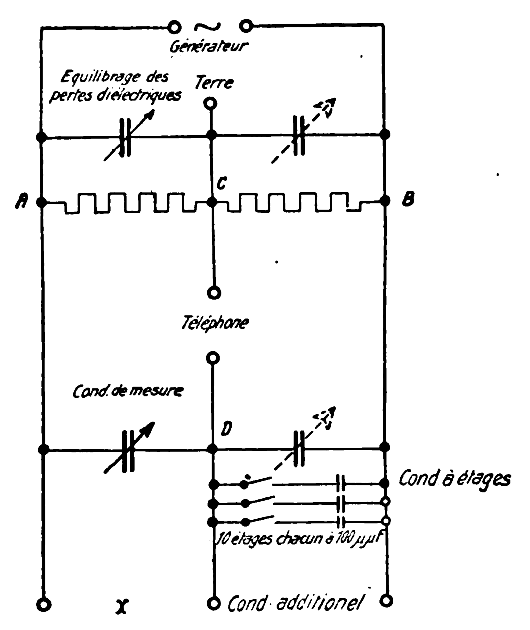


Fig. 20. — Schéma du pont de mesure de faibles capacités.

tionnels fixes, de manière que l'on puisse mesurer des valeurs de capacité comprises entre 1 et 1.100 $\mu\mu$ F. Le courant de mesure est fourni de préférence par un ronfleur magnétique, de sorte que tout le dispositif est simple et maniable. Les résultats, pour des valeurs de capacités de 1 à 100 $\mu\mu$ F, sont précis à $\pm 0{,}5$ $\mu\mu$ F ($= 5.10^{-13}$ F). Pour des capacités de grandeur supérieure, l'erreur peut atteindre $\pm$ 3 $\mu\mu$ F. La figure 21 montre l'aspect extérieur de ce pont.

Boîtes de mesures pour lignes artificielles. — Il existe dans la technique de la téléphonie un procédé de mesures, connu sous

le nom de calcul pour la détermination de la transmission, par comparaison entre une ligne réelle et une ligne artificielle étalonnée. Nous reviendrons, au chapitre IV, sur les lignes artificielles étalon, qui en général, sont subdivisées en sections de dixièmes des coefficients d'affaiblissement naturels, et sont constituées par des combinaisons déterminées de résistances non inductives. La boîte de mesures pour lignes artificielles sert aussi bien pour la surveillance de la précision, lors de la construction, que pour la vérification courante des lignes étalons en service, le schéma de principe est représenté à la figure 22. La source de courant est du courant continu. A l'entrée de la ligne étalon est

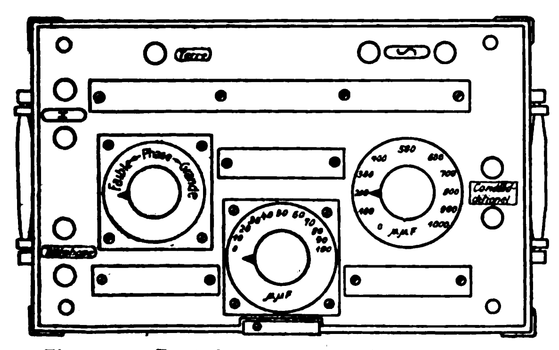


Fig. 21. — Pont de mesure de faibles capacités.

raccordée la source de courant continu B, et la tension e obtenue à l'autre extrémité est déterminée par compensation, si, au moyen du galvanoscope G, on la compare à une seconde tension, fournie par la source de courant B_2, ayant la même valeur que B_1, et obtenue par l'intermédiaire du potentiomètre R, r. Le rapport des résistances r/R est égal au rapport des tensions e/E. On calcule le coefficient d'affaiblissement B suivant la formule :

$$b = \ln \frac{2\,E}{e} = \ln \frac{2\,R}{r}.$$

Les résistances R et r sont, dans le but d'éviter tout calcul, étalonnées en valeurs de b. La figure 23 montre l'aspect extérieur de ce dispositif. Les deux manettes permettant de lire directement les valeurs de b de 0 à 11, par degrés de $b = 0{,}05$. L'appareil

comporte en outre un interrupteur pour le galvanoscope, et un commutateur pour la comparaison des deux tensions des batteries.

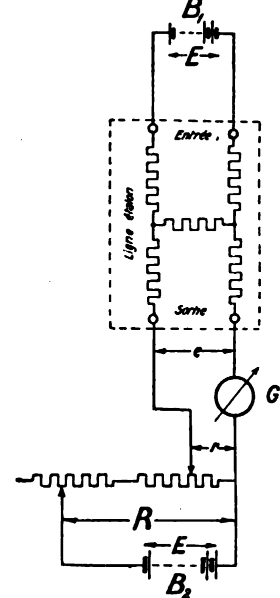


Fig. 22. — Schéma de principe du dispositif de contrôle pour ligne étalon.

Petit dispositif de mesure de couplage par cross-talk. — On peut se figurer la totalité des capacités entre deux conducteurs de chacune des quadrettes d'un câble, représentée par les condensateurs x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2 (fig. 24). Il n'y aurait absence de cross-talk que quand $x_1 = x_2 = x_3 = x_4$. Plus les capacités partielles x s'éloigneront de cette dernière condition, plus intenses seront les courants induits dans chacun des circuits de conversation ; en un mot, la valeur des cross-talk est proportionnelle à certaines valeurs d'accouplement, qui dépendent des quatre capacités partielles x.

Le petit dispositif de mesure d'équilibre de cross-talk permet

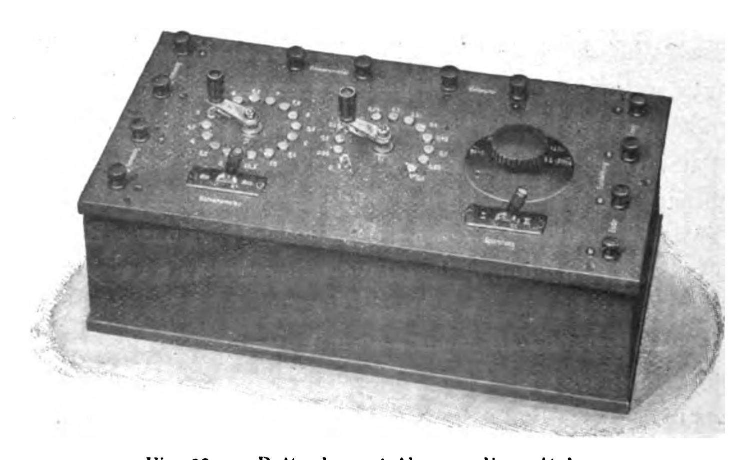


Fig. 23. — Boite de contrôle pour ligne étalon.

de déterminer les valeurs d'équilibrage $K_{I/II}$, $K_{V/I}$, $K_{V/II}$ qui

sont d'importance dans l'induction de quadrette sur quadrette et entre le circuit fantôme et la quadrette I, ou entre le circuit fantôme et la quadrette II. Ce dispositif est constitué sous forme de pont et comprend quatre condensateurs A, B, C, D et deux résistances de 1.000 ohms (voir figure 25).

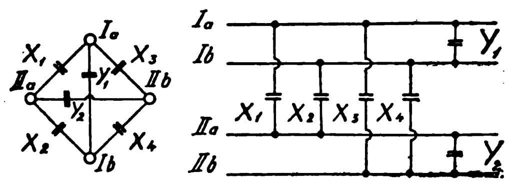


Fig. 24. — Couplages par cross-talk.

A est un condensateur réglable à plaques, B, C et D sont des condensateurs de valeur fixe. Les quatre capacités sont de valeur égale, lorsque le condensateur A est au point de gra-

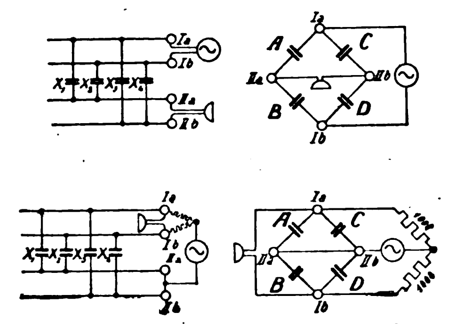


Fig. 25. — Schéma du dispositif de mesure de couplage.

duation O. Les points I_a, I_b, II_a, II_b sont raccordés aux conducteurs correspondant de la même quadrette. Un commutateur sert à raccorder la source génératrice de courant alternatif (par exemple, un ronfleur magnétique) et le téléphone au circuit téléphonique, dont le couplage par cross-talk doit être mesuré : I/II, I/V, II/V. Par le déplacement de la manette du condensateur dans un sens ou dans l'autre, le récepteur téléphonique est réduit au silence. Les valeurs de capacité obtenues au condensateur réglable, lors des trois positions du commutateur, seront les coefficients de couplages positifs ou négatifs de $K_{I/II}$, $K_{V/I}$,

$K_{V/II}$, qui serviront de base pour déterminer la qualité du câble, concernant l'uniformité des conducteurs.

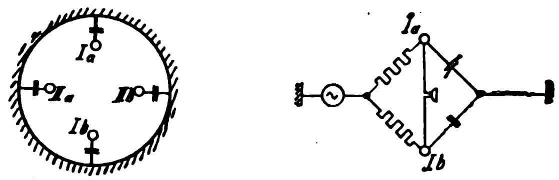


Fig. 26. — Couplage par rapport à la terre et sa mesure.

Petit pont de mesure de couplage. — Une seconde série de différences de capacités est importante pour éviter les causes de



Fig. 27. — Petit pont de mesure des couplages de cross-talk et petit appareil pour la mesure de couplage.

dérangement du câble. Afin que les circuits téléphoniques ne soient influencés par l'effet des conducteurs à courant fort disposés à proximité, particulièrement ceux des transports de force pour la traction électrique, il est indispensable que la capacité

par rapport à la terre des quatre conducteurs de chaque circuit combiné soit rigoureusement égale.

Le petit pont de mesure de couplage permet de déterminer, en plus de la mesure du couplage par cross-talk, les valeurs de couplage par rapport à la terre c'est-à-dire, l'assymétrie des capacités par rapport à la terre des quadrettes.

Ce dispositif se distingue du précédent par la disposition du commutateur qui permet trois connexions de mesure complémentaires : I/E, II/E, V/E, pour la mesure des couplages par rapport à la terre circuit physique (combinant) I, du circuit physique (combinant) II et du circuit combiné (fraction).

Ces ponts sont particulièrement indiqués pour les travaux de l'usine.

III. — Appareillages de mesures pendant la mise en place des cables.

Grand pont de mesure de couplage du cross-talk. — Comme il est dit au chapitre précédent (p. 478), le cross-talk peut être affaibli par l'équilibrage des assymétries de capacités (élimination des couplages) entre les conducteurs du circuit combiné. Par des procédés appropriés, que nous avons indiqué d'autre part, on parvient à établir l'équilibrage des capacités de telle façon, qu'au moyen de petits condensateurs additionnels, montés en parallèle avec x_1, x_2, x_3 ou bien x_4, on peut également éliminer l'influence néfaste des autres constantes de lignes (inductance, résistance) sur le cross-talk. On utilise dans ce but le grand pont de mesure de couplage de cross-talk. Ce pont comporte quatre condensateurs étalonnés réglables A, B, C, D, montés parallèlement avec les capacités partielles x_1, x_2, x_3 et x_4 aux conducteurs du câble. L'élimination du cross-talk s'effectue en modifiant l'un de ces 4 condensateurs (fig. 25) ; deux condensateurs sont ensuite accouplés mécaniquement, de telle manière, que les inductions entre le circuit principal et le circuit combiné (cross-talk combiné I et combiné II) puissent être éliminées séparément.

L'agrandissement simultané des valeurs de A et C n'influence seulement que de la même valeur d'induction entre le circuit

physique I et le circuit combiné, et l'augmentation de A et B simultané, celle entre le circuit physique II et le circuit combiné. Par cette action, on peut, en effectuant l'écoute du courant d'induction, fourni par un oscillateur raccordé à la ligne influençante, et par la variation des condensateurs accouplés, facilement éliminer les trois types de cross-talk.

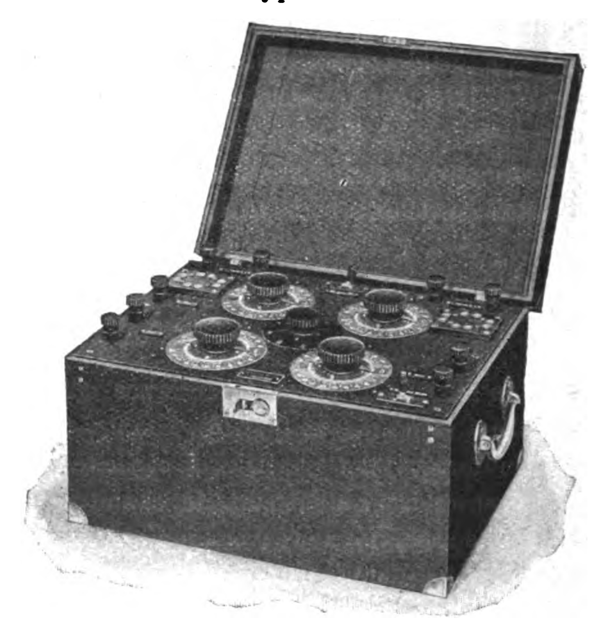


Fig. 28. — Grand pont de mesure du cross-talk.

Le bouton central permet la commutation et la combinaison des trois modes d'accouplements mécaniques. Ou peut lire directement, après le réglage, sur les cadrans des quatre condensateurs, les capacités que l'on doit ajouter aux trois capacités partielles x pour éliminer le cross-talk. Ce dispositif est utilisé lors de la pose du câble pour l'équilibrage des condensateurs de cross-talk.

Grand pont de mesure de couplage. — Pour le cas, ou non seulement les couplages par cross-talk, mais également les couplages par rapport à la terre doivent être éliminés (voir p. 480) il est nécessaire d'utiliser au lieu du grand pont de mesure de

couplage par cross-talk, le grand pont de mesure de couplage. Le commutateur de cet appareil permet trois positions de connexion supplémentaires. En première position « I/E » le circuit combinant I est équilibré par rapport à la terre, avec un condensateur de mesure; dans la position suivante « II/E » avec un autre condensateur, c'est le tour du circuit physique II, et dans la dernière position, qui accouple mécaniquement deux et deux condensateurs, le combiné est équilibré par rapport à la terre. La lecture et l'équilibrage continu s'effectuant comme pour les manœuvres pour le cross-talk.

Le grand pont de mesure de couplage ressemble, comme forme, au grand pont de mesure d'induction mutuelle. Ces deux appareils sont utilisés principalement pour les câbles placés. Les dissymétries de capacité sont influencées tant soit peu, par le déplacement ou le pliage du câble et on est ainsi forcé d'effectuer l'élimination des couplages après la pose du câble.

Dispositif de terminaison pour câbles combinés. — La mesure des couplages en vue de l'élimination du cross-talk doit être effectuée de telle manière que la longueur du câble essayée soit dans les conditions normales de connection. Ceci peut être obtenu en montant à l'extrémité de la section entre deux bobines successives, pendant la mesure, un dispositif représentant l'impédance de la ligne. Il suffit de raccorder en étoile, quatre résistances de valeur égale, aux quatre conducteurs de la quadrette et de mettre le point central à la terre.

De semblables dispositifs sont construits pour toutes les valeurs réelles possibles de l'impédance des circuits physiques et des circuits combinés. Ils sont montés dans des petits boîtiers en bois munis de six bornes de raccordement.

IV. — Appareillage de mesure pour la vérification et la réception d'installations téléphoniques.

Pont pour la mesure de l'impédance. — Cet appareil a été déjà décrit au chapitre II plus haut lorsqu'il s'agit de mesure de

câbles de grande longueur ; il permet d'obtenir l'impédance Z sous la forme : $Z = w + ju$.

Depuis peu de temps on préfère de plus en plus exprimer l'impédance en valeur réelle et en valeur imaginaire (résistance réelle et résistance apparente), cette forme étant particulièrement importante lorsque l'on traite des questions d'amplification.

Compensateur combiné avec la machine de Franke. — Pour

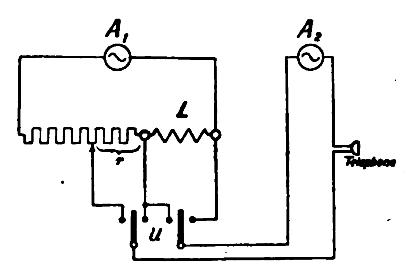


Fig. 29. — Schéma de principe du compensateur sur machine Franke.



Fig. 30. — Compensateur pour machine de Franke

plus de facilité les mesures peuvent être effectuées au moyen de la machine de Franke, avec laquelle il a été imaginé un dispositif de compensation. Ce dernier est établi suivant le principe des compensateurs utilisés seulement pour les mesures en cou-

rant continu avec résistances potentiométriques. La mesure de valeurs d'impédances s'effectue de ce fait par la comparaison des tensions entre elles. En courant alternatif il est nécessaire de régler, en plus de l'amplitude, la phase de la tension de compensation, ce qui s'effectue au moyen de la machine de Franke. Le dispositif de mesure est représenté schématiquement à la figure 29 ; A_1 et A_2 sont les deux induits de la machine et L l'objet soumis aux mesures. Par l'intermédiaire A_2, la tension est compensée dans l'objet, et la compensation est réalisée lorsque l'on n'entend plus rien dans le téléphone. En inversant le commutateur U et en faisant varier la résistance *r*, ainsi que la phase de la tension A_2, on obtient un nouveau minimum accoustique. Alors la valeur de résistance *r* est égale à celle de l'impédance de L, alors que le décalage de phase nécessaire à l'induit A_2 implique immédiatement l'angle de phase de cette impédance.

Les figures 29 et 30 représentent le compensateur en sa forme extérieure. Ses valeurs de résistance peuvent être modifiées au moyen d'une manette, par échelons de 0,1 ohm jusqu'à 1.000 ohms. D'autre part, on peut régler, au moyen de fiches des résistances de 1.000 jusqu'à 10.000 ohms.

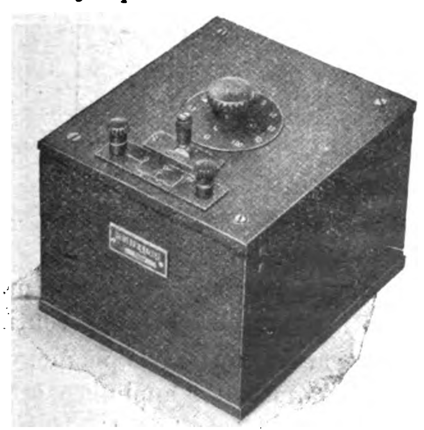


Fig. 31. — Résistance d'interpolation.

Résistance d'interpolation. — Le compensateur comporte un dispositif accessoire qui a été reconnu comme très utile : la résis-

tance d'interpolation. Cette dernière comporte un commutateur à bascule et des résistances, de sorte qu'il soit possible d'augmenter ou de diminuer la valeur de résistance *a* d'une quantité déterminée, soit 0,5 ; 2; 5 ; 20 ohms, etc. On peut par exemple, interpoler avec un échelon de 10 ohms et déterminer ainsi *r* à 0,5 ohm près, la résistance de *r* sera connue exactement, si dans les deux positions du commutateur l'intensité dans le téléphone sera identique des deux côtés.

La résistance d'interpolation peut être également livrée séparément, conditionnée comme le montre la figure 31, elle peut donc être utilisée dans toutes les mesures effectuées suivant la méthode du pont.

Voltmètre amplificateur à lampe. — Pour les mesures de faibles tensions de courant alternatif, on utilise avantageuse-

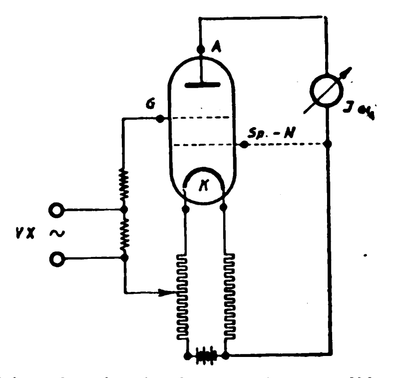


Fig. 32. — Schéma des circuits du voltmètre amplificateur à lampe.

ment le voltmètre amplificateur à lampe que montre la fig. 32. Elle représente un instrument à courant continu très sensible qui indique la variation du courant de plaque, variation due à la variation de la tension alternative appliquée, à travers un translateur à la grille. La résistance d'entrée au translateur est de l'ordre de 40.000 ohms, de sorte que la consommation de courant est réduite. Pour le chauffage du filament de la lampe à double grille, on se sert de courant continu de 6 volts, débitant environ 0,5 ampère. Cette tension est en même temps suffisante

comme tension de plaque, et il n'est donc pas nécessaire d'utiliser une autre source de courant ; la figure 33 montre l'aspect

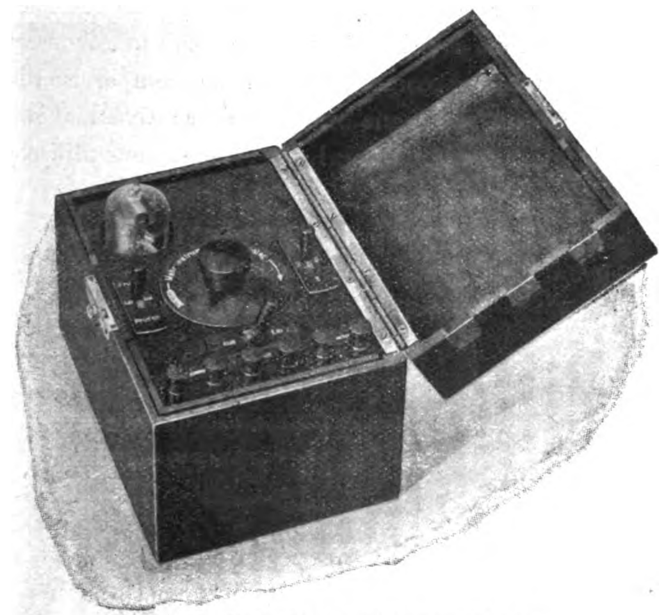


Fig. 33. — Voltmètre amplificateur à lampe.

extérieur, avec les résistances de réglage et les commutateurs. On peut prendre trois échelons de longueur de bobinage différente au translateur d'entrée. Le voltmètre à lampe permet de mesurer des tensions entre 0,1 et 10 volts.

Lignes étalons artificielles variables. — Nous avons à envisager maintenant des mesures qui, quoique de nature subjective,

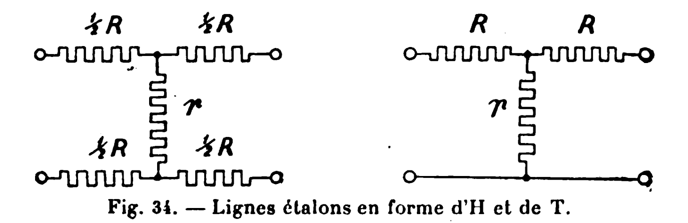


Fig. 34. — Lignes étalons en forme d'H et de T.

se sont à la longue perfectionnées de telle manière que pour les buts pratiques leur précision est suffisante. Elles présentent en

outre l'avantage d'une réalisation facile. Le principe utilisé pour ces mesures est le suivant : on compare le rapport existant entre la tension du départ et la tension à l'arrivée d'un système téléphonique quelconque avec le même rapport sur une ligne étalon; on utilise dans ce but comme moyen de comparaison le ton acoustique dans un téléphone branché alternativement sur l'un et l'autre des systèmes. Comme ligne étalon, nous utilisons des



Fig. 35. — Ligne étalon artificielle variable.

lignes artificielles constituées par des résistances non inductives en valeurs d'affaiblissement naturel. Cet affaiblissement y est défini suivant la formule :

$$\frac{1}{2} e^{b} = \frac{V_a}{V_e}$$

ou V_a et V_e représentent la tension de départ et d'arrivée sur un système à affaiblissement très accentué. Les lignes artificielles sont constituées par des cellules en forme d'H et de T (fig. 34), reliées par unités de b, au moyen d'un commutateur, aux lignes artificielles. Un système particulièrement simple est représenté par les cellules en forme de T. La figure 35 montre une ligne artificielle de ce genre en échelons de $b = 1$ pour des valeurs de $b = 0$ à $b = 10$.

Lignes étalons artificielles fixes. — En dehors des lignes artificielles étalons variables, nous construisons également des lignes artificielles étalons qui possèdent une valeur d'affaiblisse-

ment fixe. Ces dernières sont utilisées, par exemple, pour l'affaiblissement, effectué une fois pour toutes, d'un circuit de conversation ou de mesure d'une certaine valeur ; ce qui peut devenir nécessaire, particulièrement lors de l'emploi d'amplificateurs.

La ligne étalon fixe peut être fournie en montage en T ou

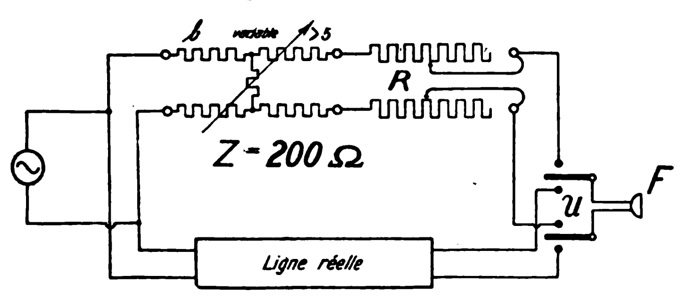


Fig. 36. — Mesure de l'affaiblissement à l'aide d'une ligne étalon à impédance caractéristique variable.

en H, elle peut, en outre, être exécutée avec toute valeur d'affaiblissement désirée de $b = 0,1$ à $b = 10$ et pour toute impédance voulue.

La différence des impédances entre les lignes téléphoniques de

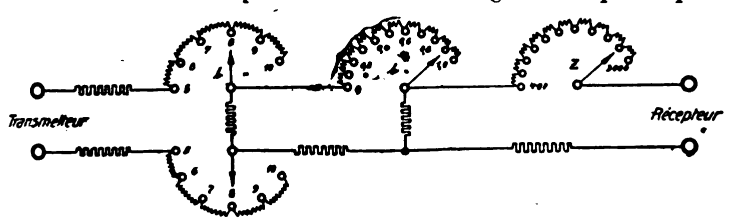


Fig. 37. — Schéma simplifié du circuit d'une ligne étalon à impédance variable.

différents genres : lignes aériennes, câbles avec ou sans charge par self-inductance, nécessitent l'emploi de lignes étalons avec des impédances appropriées, car autrement, par suite de l'adaptation inégale du téléphone, les résultats des mesures pourraient être faussés. Si l'on veut éviter la tenue en réserve d'un grand nombre de lignes étalons d'impédances différentes, on choisira alors la ligne étalon à impédance variable. Cette dernière peut être établie comme l'indique la figure 36. Une résistance réglable R complète l'impédance Z à la sortie de la ligne étalon de la valeur

désirée. Il est dans ce cas nécessaire que l'affaiblissement de la ligne étalon soit plus grand que 3. De plus faibles amortissements peuvent ensuite être mesurés, en réalisant un affaiblissement de l'ordre de 3 entre la ligne réelle de l'émetteur. La figure 37 montre que l'on peut donner une forme simplifiée à la ligne étalon à affaiblissement variable et à résistance de sortie.

Dispositif de mesure du coefficient d'affaiblissement. — Pour la combinaison rapide des divers modes de connexion qui sont

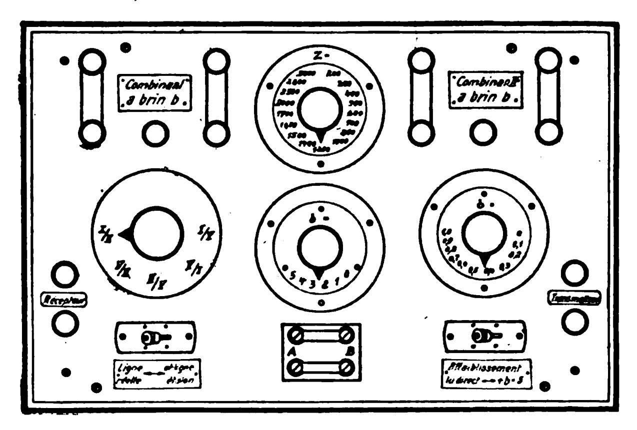


Fig. 38. — Vue en plan du dispositif de mesure du coefficient d'affaiblissement.

nécessaires pour des mesures, par comparaison, de l'affaiblissement, nous avons établi le pont de mesure du coefficient d'affaiblissement, qui sert à déterminer : le coefficient d'affaiblissement de circuits téléphoniques (lignes et appareils), l'intensité des phénomènes d'induction mutuelle dans les lignes téléphoniques ainsi que le coefficient d'amplification dans les relais téléphoniques, par comparaison auditive.

La figure 38 représente l'appareil en place. Au moyen du commutateur I, on peut réaliser au transmetteur et au récepteur les diverses dispositions dont les valeurs d'affaiblissement doivent être déterminées. Le commutateur à levier II permet la comparaison de la transmission du son à travers la ligne artificielle étalon (commutateurs III-VI). Cette dernière est constituée,

comme nous l'avons décrit précédemment, avec impédance variable, réglable au moyen du commutateur III. Les cinq positions du commutateur I permettent l'essai de cross-talk de tous genres en circuits fantômes, comme le montre, par exemple, la figure 39.

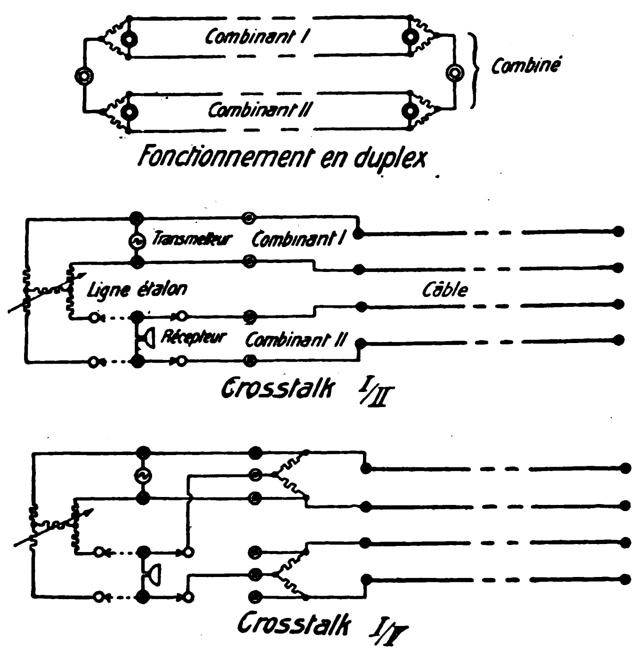


Fig. 39. — Schéma de mesure du cross-talk.

La figure 40 montre l'appareil monté dans un boîtier en bois, avec couvercle amovible.

Pont de mesure d'affaiblissement. — Dans les câbles à plusieurs quadrettes, l'essai des cross-talk d'une seule quadrette n'est pas suffisant, et il faut, en outre, étudier les phénomènes de cross-talk entre les trois circuits de conversation d'une quadrette et les trois circuits d'une quadrette voisine. Ces essais ne sont toutefois effectués qu'assez rarement. Si néanmoins on est amené à faire ces mesures, on s'apercevra qu'elles nécessiteront d'abord un temps considérable et un démontage répété des connexions du circuit téléphonique. C'est en vue de remédier à cet

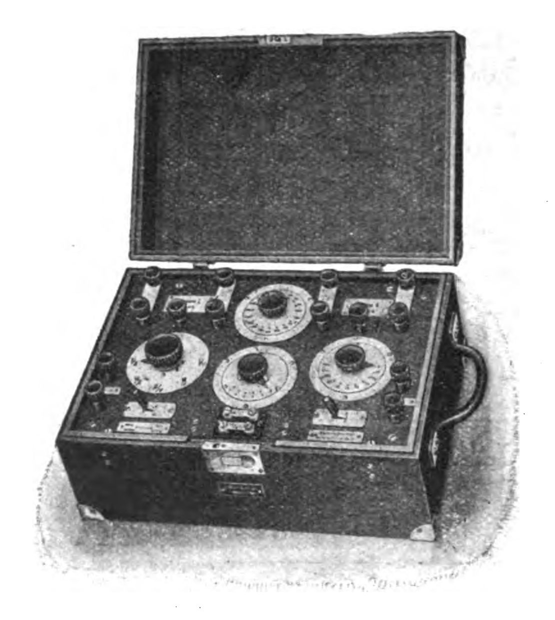


Fig. 40. — Appareil pour la mesure de l'affaiblissement.



Fig. 40 a. — Dispositif auxiliaire pour mesures de cross-talk entre quadrettes voisines.

inconvénient que nous avons étudié un dispositif auxiliaire pour la mesure de l'affaiblissement.

Dispositif auxiliaire pour mesures de circuits combinés. — Ce dispositif comporte les résistances en dérivation, représentant les circuits combinés et un commutateur, permettant d'étudier toutes les possibilités de cross-talk. La figure 40 *a* montre l'aspect extérieur de cet appareil, qui est connecté, au moyen de six conducteurs à l'appareil pour la mesure de l'affaiblissement.

Appareil pour l'essai d'affaiblissement pour montage dans les multiples téléphoniques. — Cet appareil, représenté par la



Fig. 41. — Appareil d'essai d'affaiblissement pour multiple.

figure 41, est spécialement étudié pour être monté dans les multiples téléphoniques et sert pour la surveillance des lignes et des organes de commutation dans les centraux téléphoniques. Une très grande précision n'étant pas dans ce cas, indispensable, l'impédance de cette ligne artificielle est fixée une fois pour toutes à 600 Ω. Les connexions sont établies au moyen de jacks à cordons.

Mesures de l'amplification. — Pour permettre l'essai rapide de l'amplification procurée par les amplificateurs intermédiaires

à double direction, on utilise l'appareil de mesure d'amplification dont le schéma de principe est représenté par la figure 42. Le

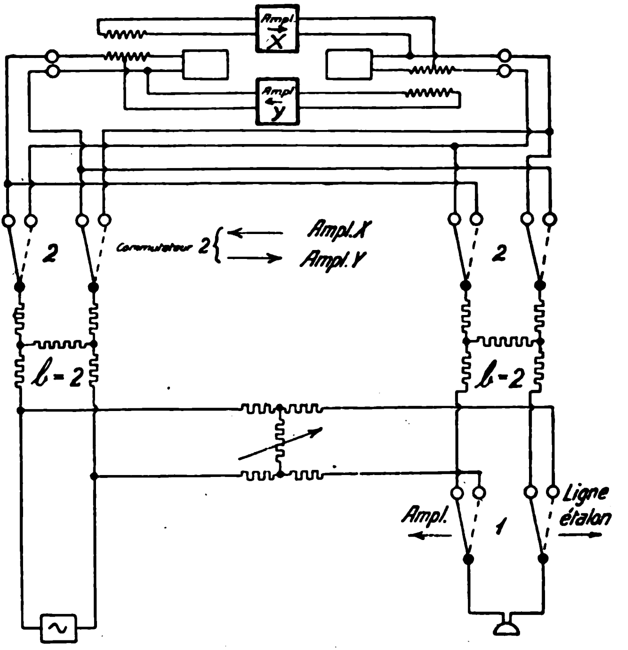


Fig. 42. — Schéma de la mesure de l'amplification.

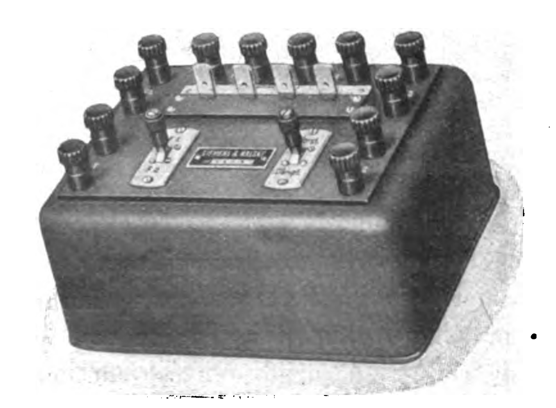


Fig. 43. — Instrument pour la mesure de l'amplification.

courant, produit par un vibrateur, est dirigé, au moyen du commutateur 1, vers le téléphone, à travers l'amplificateur connecté entre deux lignes artificielles ayant les coefficients d'affai-

blissement $b = 2$ ou bien à travers une ligne étalon variable. Cette dernière est réglée jusqu'à ce que le ton du téléphone soit d'intensité égale dans les deux directions. L'amplification est alors indiquée par la différence entre $b = 4$ et l'affaiblissement de la ligne étalon variable. Le chiffrage est établi de telle manière que l'on puisse lire directement la différence, c'est-à-dire l'amplification. Au moyen du commutateur 2, on peut interchanger le sens de la transmission d'énergie, de sorte que l'on peut établir, dans les deux cas des amplificateurs doubles, les valeurs d'amplification. La figure 43 montre l'aspect extérieur de l'appareillage de mesures monté dans une boîte de tôle.

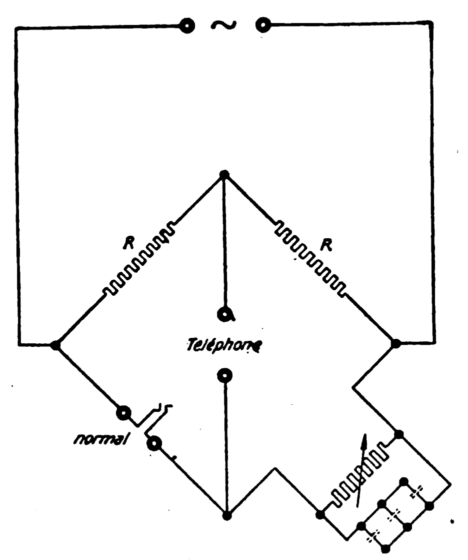


Fig. 44. — Schéma du pont d'essai de mesure du dispositif d'équilibrage.

Appareil pour l'essai de l'équilibrage avec ligne artificielle variable. — Dans le cas d'amplificateurs doubles intermédiaires, il est nécessaire de représenter les lignes réelles par des lignes artificielles, et l'amplification maximum possible dépend de la précision de la concordance entre l'impédance de la ligne artificielle et de la ligne réelle ; cette amplification est d'autant plus grande que le produit des différences entre la ligne réelle et la ligne artificielle sera plus petit, dans les deux sens de l'amplification.

L'expérience a démontré qu'une appréciation plus précise est le plus simplement et le plus sûrement établie par la recherche. Pour la détermination plus rapide des valeurs plus favorables pour une ligne artificielle, ainsi que pour un contrôle constant,

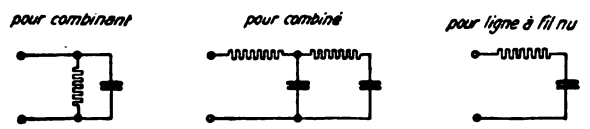


Fig. 45. — Schémas des circuits d'équilibre dans le dispositif d'essais d'équilibrage.

l'appareil d'essai d'équilibre est muni d'une ligne artificielle variable.

Cette ligne est vérifiée par l'ajustage des éléments compris

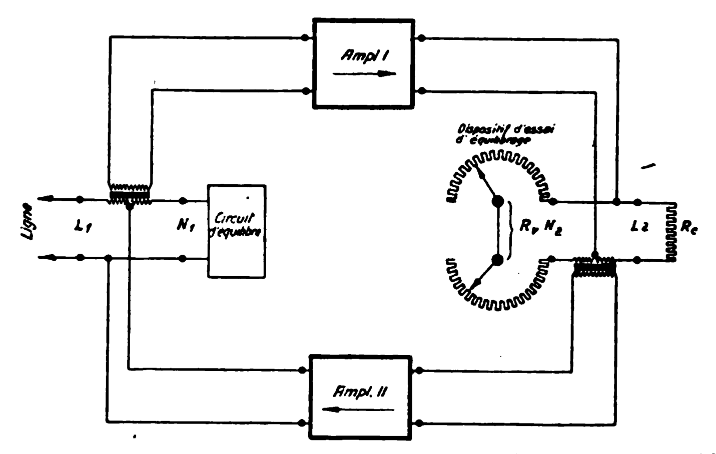


Fig. 46. — Dispositif d'essai d'équilibrage pour contrôle du circuit d'équilibre.

dans l'appareil : résistances et capacités. La meilleure combinaison ainsi trouvée sert d'étalon pour la détermination des différents condensateurs et résistances. La mesure s'effectue au moyen du pont de mesure placé dans le couvercle de l'appareil (fig. 44).

Pour la représentation des lignes ayant même une disposition compliquée, on peut s'en tirer avec les trois genres de combinaisons indiquées à la fig. 45.

Si l'on dépasse d'une certaine valeur le produit provenant de la dissymétrie dans les deux sens de l'amplification, il se pro-

duit dans l'amplification des oscillations et un sifflement. On peut utiliser cette particularité pour l'essai de la valeur de la disposition, en augmentant sur un des sens de l'amplificateur L_2

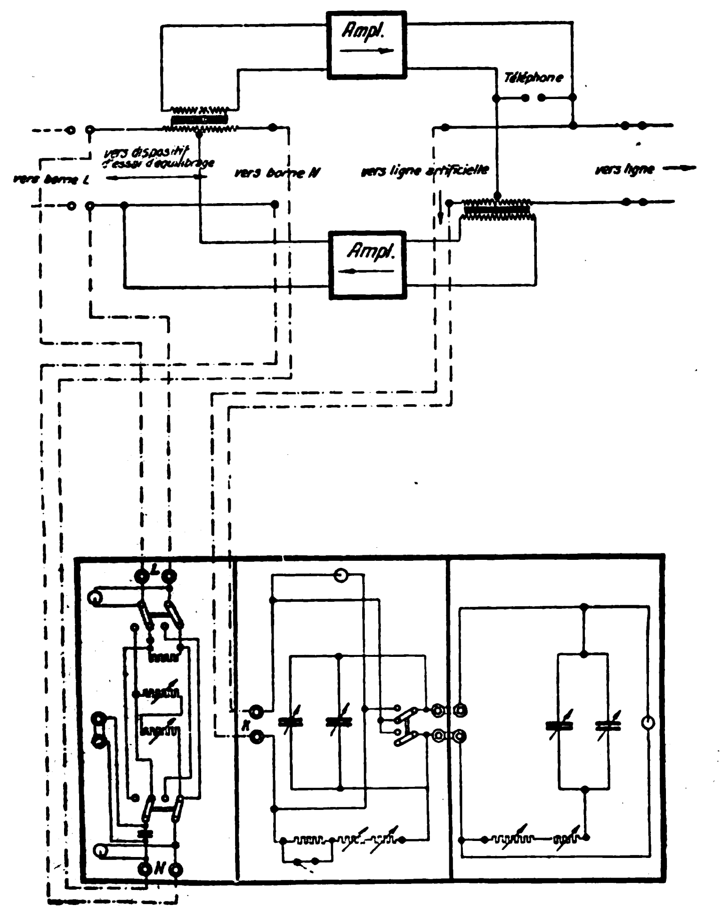


Fig. 47. — Schéma de l'appareil de mesure d'équilibrage à ligne artificielle variable.

(fig. 46) la dissymétrie entre la ligne réelle et la ligne artificielle dans une proportion connue. La dissymétrie ainsi réalisée, qui est donnée par le rapport $R_v : R_d$ représente une valeur de mesure de la précision de l'équilibre de l'autre sens L_1 de l'amplificateur.

Le schéma de principe du dispositif d'essai d'équilibre et de la ligne artificielle variable est représenté à la fig. 47. Il comporte trois parties essentielles : le premier champ comprend l'appareil d'essai proprement dit, le second champ est destiné à la combinaison de lignes artificielles pour câbles ; le troisième champ peut, au moyen d'éclisses, être raccordé au second champ et employé comme combinaison représentant des circuits com-

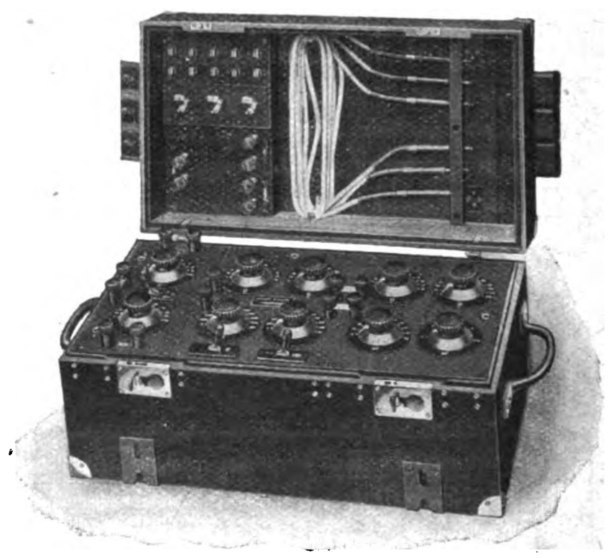


Fig. 48. — Appareil pour l'essai de l'équilibrage.

binés de câbles, ou bien utilisé seul comme disposition représentative de lignes aériennes.

La fig. 48 montre l'aspect extérieur de l'appareil, muni d'une ligne artificielle variable.

Le couvercle peut être enlevé facilement : il renferme les cordons à fiches nécessaires au raccordement au commutateur à levier ainsi que le pont de mesure. Comme source de courant on peut utiliser soit un ronfleur magnétique ou un oscillateur à lampe.

Trois pieds démontables fixés à l'extérieur du couvercle pendant le transport, permettent une utilisation facile de l'appareil.

Résistances en ponts. — En vue de permettre la combinaison, suivant les besoins, de ponts de mesure, ainsi que la constitution

de circuits téléphoniques doubles, dans le but de les mesurer, on utilise la résistance en pont, qui comporte deux résistances de 1000 Ω avec enroulements Chaperon, montées dans un boîtier en bois. Trois bornes de raccordement rendent accessibles les extrémités des résistances montées à demeure en série.

Résistances montées sur bobines. — Pour la constitution de combinaisons de lignes pour amplificateurs à deux conducteurs, ainsi que pour certains buts d'équilibrage dans le service téléphonique, ou dans les mesures, ou utilise souvent des résistances fixes de valeurs les plus différentes. Dans ce but, on a étudié des résistances sur bobine, qui comporte un corps isolant en forme de cylindre, sur lequel on a enroulé du fil de constantan de telle manière que l'inductance et la capacité sont pratiquement négligeables. Ces résistances sont munies de borne de raccordement à souder.

*
* *

Nous avons passé en revue le plus brièvement possible, dans cette note, le domaine de l'utilisation et la construction d'appareillages pour la mesure de courants alternatifs, ainsi que l'exécution de ces mesures. Il n'aura pas échappé au lecteur que ces appareils forment un ensemble complet embrassant toute la technique des câbles téléphoniques et susceptible de donner satisfaction dans tous les cas particuliers qui peuvent se présenter.

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

Installations téléphoniques pour réseaux de distribution d'énergie électrique (*Bulletin de l'Association suisse des électriciens* : novembre 1924). — L'énergie électrique est distribuée à des distances de jour en jour plus considérables. Les stations génératrices et les sous-stations fonctionnent sur un même réseau et il est indispensable qu'elles puissent, en cas de besoin, communiquer téléphoniquement entre elles. Or, si pour cela elles devaient emprunter les lignes publiques, il arriverait fréquemment que les communications ne pourraient être établies en temps voulu. D'où la nécessité, pour les importants réseaux de distribution d'énergie électrique, de disposer de circuits téléphoniques privés, indépendants de ceux du réseau général.

La présente étude porte sur deux systèmes différents qui permettent d'établir des liaisons sûres et avantageuses entre stations électriques. Le premier, qui recourt à la téléphonie à haute fréquence, s'apparente à la radiotéléphonie : aux oscillations de haute fréquence, on superpose les oscillations de la voix humaine. Le poste émetteur rappelle, dans ses grandes lignes, un poste d'émission radiotéléphonique; mais, au lieu que les ondes émises rayonnent dans toutes les directions, elles sont « dirigées » par les conducteurs qui distribuent l'énergie électrique.

Les courants de conversation sont transmis vers la ligne téléphonique, soit au moyen d'une antenne tendue sous les fils de la ligne d'énergie, soit par un couplage de capacité à travers un condensateur ; dans ce dernier cas, on évite les pertes par rayonnement. On peut établir entre stations des communications bilatérales en recourant à des longueurs d'onde différentes : une même onde est à la fois l'onde émettrice de la station 1 et l'onde réceptrice de la station 2, et une autre onde est à la fois l'onde récep-

trice de la station 1 et l'onde émettrice de la station 2; une troisième station, possédant une troisième onde comme onde émettrice et une quatrième onde comme onde réceptrice en dehors des ondes 1 et 2, est en mesure de communiquer avec les deux premières stations lors même que l'une de ces stations ne serait pas munie d'appareils transmetteurs et récepteurs appropriés aux ondes 3 et 4. Il ne serait pas économique de relier ainsi plus de trois stations ; d'ailleurs, les difficultés d'ordre technique seraient par trop grandes. Il ne reste donc qu'une ressource : se servir toujours de la même longueur d'onde ; mais alors il est impossible d'établir des communications bilatérales.

Sur les longues lignes d'énergie sans branchements, ce système satisfait à toutes les exigences du trafic entre stations. Mais il n'est guère utilisable lorsque les lignes d'énergie comportent de nombreux branchements. Il faut alors envisager un autre système, qui ne se distingue des installations téléphoniques ordinaires que par les différents organes de protection intercalés sur le circuit. Ici, il est indispensable de poser une ligne téléphonique spéciale entre les diverses stations, car on ne peut utiliser les conducteurs qui distribuent l'énergie électrique. Mais les appareils de protection permettent de poser la ligne spéciale sur les mêmes appuis que la ligne d'énergie sans qu'on ait à craindre de troubles par induction et aussi sans qu'il y ait de danger pour les personnes appelées à se servir du téléphone.

Les influences perturbatrices exercées sur les lignes à courant faible par les lignes d'énergie voisines sont d'origine électrique et électromagnétique. Pour supprimer l'effet des charges électriques, on intercale des bobines de réactance de mise à la terre sur les lignes téléphoniques : le conducteur d'aller et le conducteur de retour sont reliés respectivement aux deux moitiés de l'enroulement. Les deux enroulements sont placés autour d'un noyau de fer ; le point milieu est mis à la terre. Lorsque les deux conducteurs du circuit téléphonique sont parcourus par des courants allant vers la terre, les enroulements engendrent des champs magnétiques opposés, qui se neutralisent mutuellement ; la ligne se trouve ainsi, pratiquement, mise à la terre. Pour les courants alternatifs de fréquence

téléphonique qui circulent sur la ligne lors d'une conversation, les deux enroulements de la bobine de réactance, montés en série, constituent un pont, d'impédance très élevée, qui n'affaiblit pas d'une manière appréciable les courants de conversation. En outre,

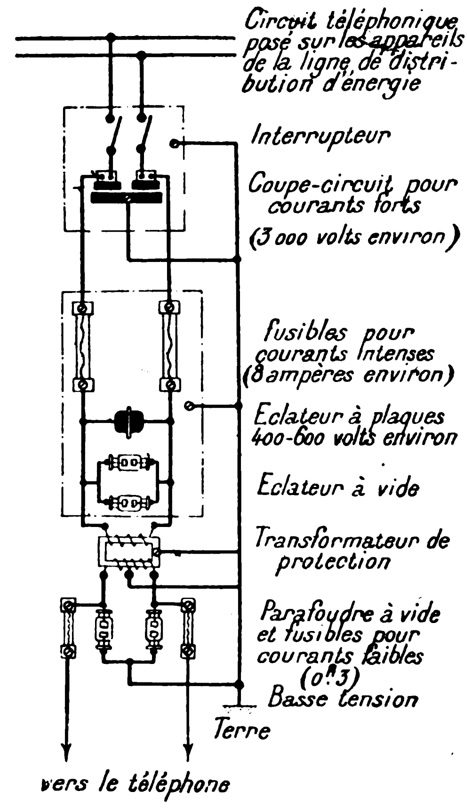


Fig. 1.

en cas d'isolement défectueux, les charges électriques des lignes à courant faible ne s'équilibrent pas entre fil d'aller et fil de retour; elles s'écoulent vers la terre. Il ne peut donc se produire de bruits parasites du fait des courants compensateurs.

Restent les risques de chocs acoustiques et de dommages aux installations si la ligne téléphonique vient à toucher la ligne d'énergie, car alors la première peut avoir une tension très élevée par rapport à la terre, ce qui constitue un danger. C'est pour parer

à ce danger qu'on a recours à un transformateur téléphonique, qui sépare les appareils de la ligne extérieure (fig. 1). Ce transformateur est lui-même protégé contre les surintensités et les surtensions par des éclateurs et des fusibles. On voit, d'après la figure 1, quel est le rôle des divers dispositifs de protection. Sur une installation de ce genre, on peut utiliser à volonté un appareil téléphonique mobile ou un appareil mural. Toutefois, les enroulements des téléphones, des appels magnétiques, etc... doivent être adaptés exactement au transformateur. Pour répondre à toutes les exigences du trafic téléphonique entre stations électriques, on a imaginé des installations spéciales qui permettent de communiquer avec un grand nombre de postes, par exemple avec les surveillants dans les stations, avec les monteurs qui se tiennent à leur domicile. Dans les centrales, d'où les lignes partent dans toutes les directions, les communications sont établies au moyen d'un tableau à volets ; chaque ligne est protégée par un dispositif complet, équipé comme il est dit plus haut. A l'aide d'un commutateur à fiche, on peut mettre en communication deux postes téléphoniques, de telle sorte que les courants de conversation n'arrivent pas jusqu'aux deux transformateurs du poste intermédiaire. On évite ainsi un affaiblissement de ces courants parfaitement inutile. Dans le cas de longs circuits bifilaires avec postes échelonnés, le montage est réalisé de telle façon que ceux-ci ne soient pas tous isolés si un fil vient à se rompre.

En ce qui concerne les postes téléphoniques installés de place en place sur les appuis le long de la ligne d'énergie, les différents organes du dispositif de protection contre les hautes tensions sont renfermés dans une boîte, à l'abri des intempéries. Pour parler à partir de ces postes, on se sert d'un téléphone portatif et d'un contact à fiche; ils sont utiles au personnel en tournée d'inspection le long des lignes, pour communiquer avec la centrale. Aux points de bifurcation, sont installés des postes de raccordement comprenant le dispositif complet de protection contre les hautes tensions [1]. Suivant les besoins, on peut encore installer à demeure

(1) Si, par exemple, la ligne bifurque vers une maison éloignée de la ligne principale, le circuit téléphonique, à partir de la boîte de raccordement, est prolongé, jusqu'à la maison en question, simplement comme ligne d'énergie à basse tension.



sur les appuis, des postes téléphoniques complets, renfermés dans une boîte en fer qui les protège contre les intempéries et tout usage abusif.

Comme les réseaux téléphoniques ordinaires, les réseaux privés que nous venons de décrire peuvent comporter des centraux téléphoniques qui permettent de desservir très simplement des lignes d'énergie à ramifications nombreuses. Mais la portée de transmission doit rester dans certaines limites, moins à cause de l'affaiblissement des courants de conversation qu'en raison de l'affaiblissement des courants d'appel, qui ne pourraient actionner les sonneries des stations trop éloignées. La portée limite est cependant assez grande. Il y a en service actuellement des installations téléphoniques privées qui desservent des réseaux de distribution d'énergie dont la longueur totale est supérieure à 400 kilomètres.

Les dispositifs de sécurité décrits plus haut permettent de communiquer téléphoniquement sans difficultés, même lorsque la tension de service de la ligne de distribution d'énergie est de l'ordre de 60.000 volts. Parmi les compagnies électriques suisses possédant un réseau téléphonique privé équipé comme il est dit plus haut, on peut citer celle de la ville de Lucerne et celle d'Olten-Aarburg. L'efficacité des dispositifs de protection contre les surtensions n'est pas contestable ; on en eut une nouvelle preuve à l'usine de Laufenburg, au cours d'un violent orage qui éclata sur la région le jour de la Pentecôte. La foudre tomba deux fois sur la ligne d'énergie à 50 kilovolts, dont les appuis supportaient également la ligne téléphonique. Les décharges détruisirent des isolateurs et l'ensemble du dispositif de sécurité protégeant le poste téléphonique de l'usine. Mais ni le transformateur téléphonique ni les lignes du côté de la basse tension (fig. 1) n'eurent à en souffrir ; même les fusibles pour courants faibles ($0^A,3$) n'avaient pas été grillés.

On trouvera des renseignements complémentaires sur les installations téléphoniques privées de ce genre dans un article publié en 1923 par E. Fischer, dans la *Siemens Zeitschrift*, sous le titre : *Der Fernsprecher im Nachrichtendienst der Ueberlandkraftwerke*.

Mesure, aux fréquences téléphoniques, de la fréquence

propre d'une bobine d'inductance (variomètre) (Nukiyama et Kobayashi : *Philosophical Magazine and Journal of Science*: novembre 1924). — On calcule la fréquence du courant alternatif d'après l'inductance mutuelle connue, et l'on mesure la capacité à l'aide du pont de Campbell pour la mesure des fréquences. Le même dispositif peut servir à la détermination de la fréquence propre d'une bobine utilisée comme primaire de l'inductance mutuelle, lorsqu'on connaît la fréquence du courant de mesure et la capacité

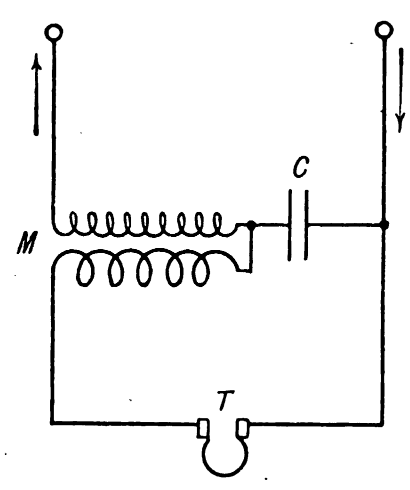


Fig. 1. — Pont de Campbell.

qui réalise l'équilibre. Dans l'expérience décrite ici, on se sert de diapasons pour évaluer la fréquence. On démontre comment il est possible de calculer la fréquence propre et la capacité propre de la bobine primaire en réalisant l'équilibre pour deux fréquences connues; puis on donne une description de la méthode de mesures, ainsi que du contrôle des résultats. Lorsque la capacité propre influe considérablement sur la précision de l'équilibre, on peut remédier à cet inconvénient par une légère modification apportée au montage, comme l'indique la figure 6.

Pont de Campbell pour la mesure des fréquences. — Quand on fait passer un courant alternatif, de vitesse angulaire $\omega = 2\pi f$, dans un pont de Campbell (fig. 1), il faut, pour qu'on n'entende rien dans le téléphone T, que

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{MC}} \qquad (1)$$

si l'on monte une capacité C_0 en dérivation sur la bobine L de l'inductance mutuelle M (fig. 2), la formule (1) devient :

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{MC + LC_0}}, \qquad (2)$$

$$\omega C_0 R = 0, \qquad (3)$$

où L représente l'inductance propre de la bobine primaire et R sa résistance.

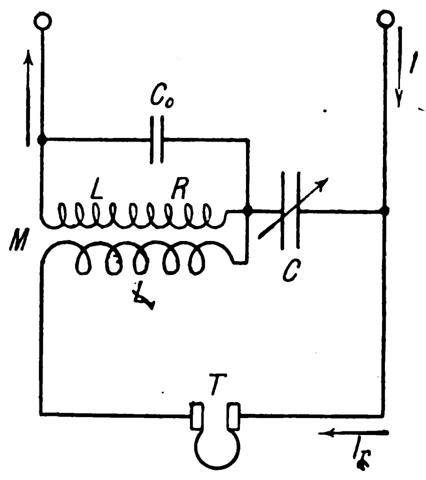


Fig. 2. — Pont de Campbell, avec un condensateur en dérivation sur le primaire.

On peut satisfaire à la condition (2) en faisant varier M ou C ; mais alors la condition (3) ne peut être rigoureusement satisfaite, et l'équilibre du pont n'est pas parfait. Mais, dans le cas où le bruit perçu dans le téléphone est minimum, la condition (2) peut être satisfaite, et, si on l'exprime sous la forme de l'équation (1), on a :

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{MC + LC_0}} = \frac{1}{\sqrt{M'C}}. \qquad (4)$$

On peut appeler M' *l'inductance mutuelle apparente* ; elle est donnée par la formule :

$$M' = M + \frac{C_0 L}{C}. \qquad (5)$$

Autrement dit, on peut considérer que M est corrigée d'une quantité $\frac{LC_0}{C}$ en raison de sa capacité propre C_0.

Capacité propre d'une bobine. — Étant donné que la capacité distribuée le long des conducteurs de la bobine est extérieurement équivalente à celle du condensateur monté en dérivation aux bornes de la bobine, nous appelons cette dernière capacité la *capacité propre* de la bobine. D'après la théorie exposée plus haut, on peut se servir du pont de Campbell pour mesurer la capacité propre.

Dans ce but, on construit une inductance mutuelle en prenant la bobine comme primaire et, comme secondaire, une bobine dont la correction, du fait de la capacité propre, est peu importante par rapport à la même correction pour le primaire. Le pont de Campbell servant à mesurer les fréquences est constitué par une inductance mutuelle et par un condensateur étalon ; ce dernier est choisi de telle sorte qu'on connaisse la correction à apporter à sa capacité suivant la fréquence, ou bien de sorte que cette correction soit négligeable par rapport à la correction à faire subir à L du fait de sa capacité propre. Si l'on détermine la fréquence du courant au moyen de diapasons, on a, lorsque l'équilibre est réalisé (formule 4) :

$$M' = \frac{1}{C\omega^2}. \tag{6}$$

On peut donc calculer l'inductance mutuelle apparente. Si l'on mesure les inductances mutuelles apparentes M'_1 et M'_2 à deux fréquences connues ainsi que les capacités C_1, C_2 qui réalisent l'équilibre, on a d'après la formule (5) :

$$M'_1 = M + \frac{LC_0}{C_1},$$

$$M'_2 = M + \frac{LC_0}{C_2};$$

de ces équations on tire :

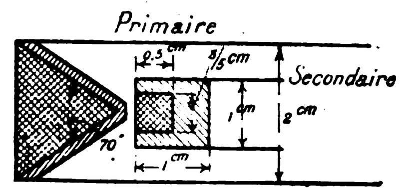
$$LC_0 = \frac{M'_1 - M'_2}{\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}}, \tag{7}$$

$$M = M'_1 - \frac{LC_0}{C_1};$$

et finalement on a, pour la fréquence propre de la bobine :

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L C_0}} .$$

On peut obtenir de la même manière la capacité propre C_0, en shuntant la bobine par un condensateur de capacité comme C_{0_1}. Dans ce cas, d'après la formule (5), les inductances mutuelles appa-



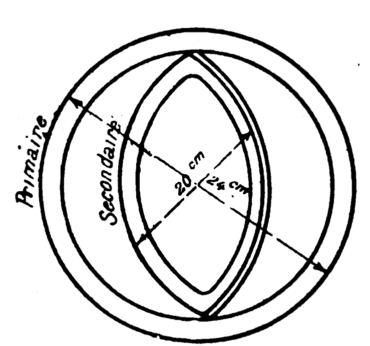


Fig. 3. — Inductance mutuelle.

rentes M''_1, M''_2 et les capacités C_3, C_4, à deux fréquences connues, doivent satisfaire aux conditions suivantes :

$$M''_1 = M + \frac{(C_0 + C_{0_1}) L}{C_3},$$

$$M''_2 = M + \frac{(C_0 + C_{0_1}) L}{C_4},$$

d'où l'on tire

$$(C_0 + C_{0_1}) L = \frac{M''_1 - M''_2}{1/C_3 - 1/C_4} . \qquad (10)$$

En éliminant L à l'aide des formules (7) et (10), il vient :

$$C_0 = \frac{C_{0_1}}{\dfrac{(M''_1 - M''_2)(1/C_1 - 1/C_2)}{(M'_1 - M'_2)\,(1/C_3 - 1/C_4)}} \qquad (11)$$

Détail des expériences. — On a mesuré le L C_0 de l'enroule-

ment primaire de l'inductance mutuelle comme l'indique la figure 3. On a soumis aux essais plusieurs bobines formées de spires en nombre différent; une d'elles sera prise comme exemple. Le courant alternatif, fourni par un oscillateur à lampe, était transmis à un circuit B renfermant un pont de Campbell (fig. 4). Comme capacité

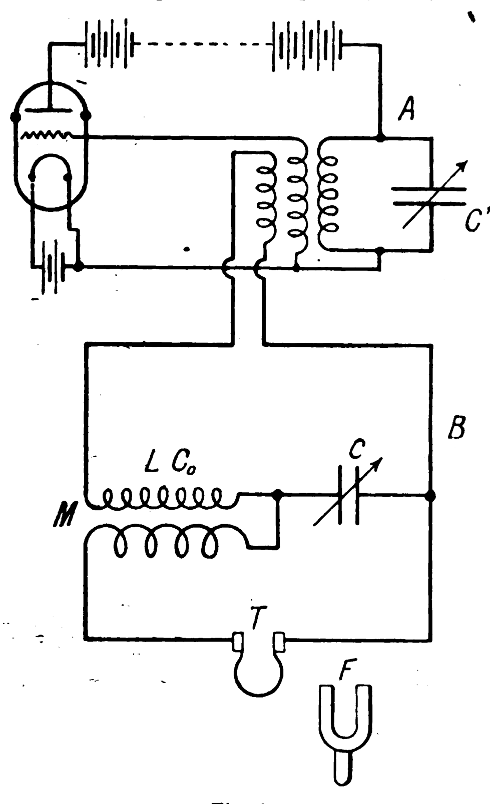


Fig. 4.

C, on a choisi un condensateur étalon Siemens au mica et un condensateur à air étalonné, ce dernier pour réaliser un équilibre rigoureux. On a déterminé la fréquence du courant alternatif en comparant le son reproduit par le récepteur téléphonique à celui rendu par des diapasons étalons Max Kohl, et en réglant le condensateur C′ du circuit A.

On pouvait faire tourner le secondaire de l'inductance mutuelle autour de l'axe commun au primaire et au secondaire, et l'on a

TABLEAU I. — Inductance mutuelle apparente.

Écartement des deux bobines	f = 320. C	f = 320. M'	f = 512. C	f = 512. M'	f = 704. C	f = 704. M'	f = 960. C	f = 960. M'	f = 2048. C	f = 2048. M'
10°	0,$^{\mu F}$237	1046,^{H}3	0,$^{\mu F}$09154	1059,^{H}7	0,$^{\mu F}$04827	1058,^{H}3	0,$^{\mu F}$0256	1082 ^{H}	0,$^{\mu F}$00472	1282 ^{H}
20°	0,29	855,1	0,10085	961,8	0,05858	874,0	0,0311	891,1	0,00586	1032,6
30°	0,355	698,5	0,13892	698,2	0,0729	702,4	0,0387	715,4	0,00720	844,2
40°	0,445	557,2	0,17468	555,2	0,0915	559,3	0,0488	567,0	0,00919	658,4
50°	0,574	432,0	0,22500	435,9	0,118	433,5	0,0623	444,3	0,0116	521,6
60°	0,770	322,1	0,3007	322,5	0,1585	323,0	0,0842	328,0	0,0158	383,0
70°	1,135	218,5	0,443	218,9	0,231	221,8	0,1230	225,2	0,0236	256,4
80°	2,000	124,0	0,783	123,9	0,413	123,9	0,1284	126,7	0,0413	146,4

TABLEAU II. — C_0 L et M.

Écartement des deux bobines	$\omega = 2\pi \times 320$. M'_1	$\omega = 2\pi \times 2048$. M'_2	C_1	C_2	M	C_0 L
—	—	—	—	—	—	—
10°	1,^{H}0463	1,^{H}2820	0,$^{\mu F}$237	0,$^{\mu F}$00472	1,^{H}052	11,$^{sec^2}$35 $\times 10^{-10}$
20°	0,8551	1,0326	0,290	0,00586	0,853	10,70 $\times 10^{-10}$
30°	0,6985	0,8442	0,355	0,00720	0,697	10,65 $\times 10^{-10}$
40°	0,5573	0,6584	0,445	0,00919	0,550	9,53 $\times 10^{-10}$
50°	0,4320	0,5216	0,574	0,01160	0,4307	10,6 $\times 10^{-10}$
60°	0,3221	0,3830	0,770	0,01580	0,3188	9,13 $\times 10^{-10}$
70°	0,2185	0,2564	1,135	0,02360	0,2106	9,13 $\times 10^{-10}$
80°	0,1240	0,1464	2,000	0,04133	0,1200	9,45 $\times 10^{-10}$
					Moyenne	10,46 $\times 10^{-10}$

mesuré l'angle formé entre eux en partant de la position pour laquelle les deux bobines étaient situées dans le même plan. La première colonne du tableau I indique les différentes valeurs de cet angle ; sur le même tableau, C indique la capacité pour laquelle l'équilibre est réalisé, et M' l'inductance mutuelle apparente calculée d'après la formule (4), en tenant compte des valeurs de C et de la

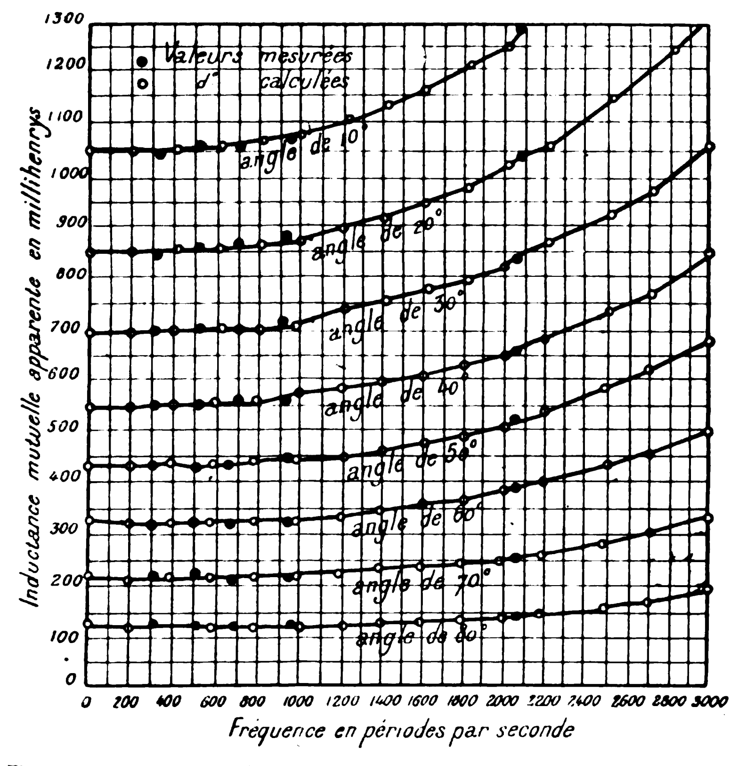


Fig. 5. — Variations de l'inductance mutuelle apparente avec la fréquence.

vitesse angulaire déterminée au moyen des diapasons. Sur le tableau II, on a porté les valeurs de L C_0 et M calculées d'après les formules (7) et (8), en prenant les valeurs de M' et de C pour $f =$ 320 et $f = 2048$ (tableau I). Les inductances mutuelles apparentes calculées [d'après la formule (5), au moyen de M et de la valeur moyenne de L C_0 égale à $10{,}46 \times 10^{-10}$ sec^2 (tableau III)], sont comparées sur la figure 5 aux valeurs mesurées. La concordance est

telle que l'on voit que, pour la gamme de fréquences considérée, on peut remplacer la capacité distribuée dont il a été question plus haut par un condensateur monté en dérivation aux bornes de la bobine. Le tableau II montre que la diminution de LC_0 avec M peut être imputée à la capacité propre de la bobine secondaire.

Méthode permettant de réaliser un équilibre parfait. Les formules (2) et (3) indiquent les conditions à satisfaire pour réaliser l'équilibre ; mais la condition à remplir d'après la formule 3, ne l'est pas

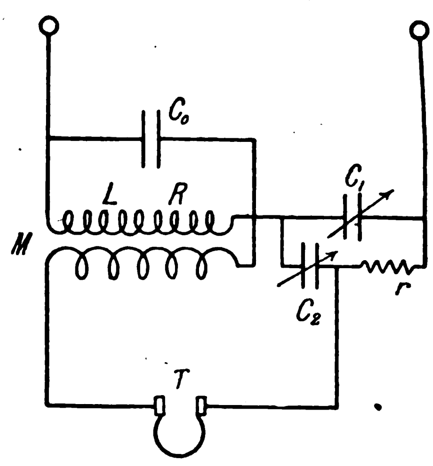


Fig. 6. — Pont de Campbell, modifié en vue de réaliser un équilibre rigoureux.

avec le montage représenté sur la figure 2. Lorsque la précision de l'équilibre est gênée par la résistance du primaire, il est facile d'y remédier en apportant une légère modification au pont de Campbell; cette modification consiste à scinder en deux parties (C_1 et C_2) la capacité C, et à monter une résistance non inductive r en série avec C_2 (fig. 6). (Cette méthode a été appliquée par notre collaborateur M. Matsudaira).

Avec cette nouvelle disposition, et en posant $C = C_1 + C_2$, le courant qui traverse le récepteur téléphonique est nul quand on a:

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{MC + LC_0}}, \tag{12}$$

$$C_0 R = \frac{C_1 C_2 M r}{MC + LC_0} \tag{13}$$

On peut donc satisfaire à la fois aux deux conditions ci-dessus

(formules 12 et 13) en réglant convenablement C_1, C_2 et r ; l'équilibre est alors parfait. Toutefois, la méthode employée pour déterminer M et L C_0 reste la même, puisque la formule (12) est identique à la formule (2). En déduisant M et L C_0 de la formule (12), on peut calculer $C_0 R$ en appliquant la formule (13) ; par suite, connaissant C_0, on peut calculer la distance effective de la bobine R.

Conclusion. — Cette méthode est d'application difficile dans un laboratoire ordinaire, parce que, pour déterminer la capacité propre de la bobine, il faut avoir à sa disposition un jeu de diapasons étalons. Mais si l'on est entraîné à étalonner la fréquence du courant alternatif comme multiple de celle d'un diapason, il suffit d'avoir à sa disposition un seul diapason. L'avantage de cette méthode résulte de ce que les causes d'erreur dues aux variations des constantes principales de l'élément de circuit sont en grande partie éliminées, du fait de la simplicité même du dispositif.

Production de champs magnétiques très intenses (T. F. Wall : *Nature* : 20 sept. 1924, et *Journal of the Franklin Institute* : décembre 1924). — Des condensateurs d'une capacité de 700 microfarads, chargés de sorte que la différence de potentiel aux bornes atteignît 1850 volts, furent déchargés à travers un solénoïde d'aimantation comptant 25,5 spires par centimètre. L'oscillographe enregistra une intensité de 12.500 ampères, correspondant à la première pointe de la décharge. En d'autres termes, on avait produit un champ magnétique de 400.000 gauss environ.

Grâce aux modifications qu'on apporte actuellement à l'installation, on espère arriver sous peu à engendrer un champ magnétique dont l'intensité sera de l'ordre de 1.500.000 gauss.

BIBLIOGRAPHIE.

Taschenbuch für Fernmeldetechniker, par Hermann W. Goetsch. Berlin, R. Oldenbourg. 1 vol. in-8° de 400 pages.

Ce manuel contient un aperçu de tout ce que l'on a appelé en France, la *télécommunication* : installations de signalisation de toute nature, depuis la simple sonnerie d'appartement jusqu'aux installations réalisées dans les mines et les chemins de fer, télégraphie, téléphonie. L'ouvrage est divisé en trois parties. La première est consacrée au rappel de notions fondamentales d'électricité et de magnétisme et aux organes intervenant dans tous les types d'installations : sources d'énergie, sonneries, relais, etc... La deuxième partie traite de toutes les installations dont la technique est celle de la télégraphie ; elle s'occupe d'installations de sonneries, des indications de niveau d'eau à distance, des fermetures de sûreté avec signalisation des tentatives d'effraction, des signaux de chemins de fer, des horloges électriques, des avertisseurs d'incendie, etc..., et enfin des systèmes de télégraphie utilisés par l'administration allemande : Morse, Hughes, appareil rapide Siemens, appareil Wheatstone. La troisième partie est consacrée à la téléphonie, manuelle et automatique (le système automatique Siemens est seul décrit), avec des chapitres consacrés aux lignes, aux amplificateurs et aux méthodes de mesure.

Ce livre renferme un grand nombre de renseignements précis sur tous les appareils utilisés ; on y trouve même, ce qui est exceptionnel dans les livres français, des données numériques sur les résistances, inductances et capacités des différents organes. Les schémas sont présentés avec beaucoup de clarté et sont d'une lecture facile. Des notes bibliographiques renvoient à des ouvrages plus étendus sur chaque question.

Un ouvrage conçu sur des principes analogues à l'usage des lecteurs français leur rendrait les plus grands services. Tel qu'il

est, le livre de M. Goetsch, bien que fait spécialement pour le public allemand et traitant uniquement d'installations existant en Allemagne, peut rendre de précieux services à tous ceux qui s'occupent de la technique des télécommunications.

Mon poste de T. S. F., par Joseph Roussel, secrétaire général de la Société française d'étude de télégraphie et de téléphonie sans fil. Paris, Vuibert, 1925. Un vol. in-8° avec 156 figures. Prix : 10 francs.

Dans cet ouvrage, l'auteur s'est proposé de décrire un poste complet, réalisé dans ses moindres détails par un amateur, et comprenant les principaux dispositifs de réception sûrs, actuellement en usage et permettant de recevoir la plupart des auditions mondiales sous toutes les longueurs d'ondes et de suivre à la fois les émissions de radiophonie de diffusion, les émissions d'amateurs, les émissions scientifiques de recherches.

Cette description est complétée par celle de dispositifs d'émission réalisés par l'auteur et répondant entièrement aux conditions légales de longueur d'ondes et de puissance.

Mon poste de T. S. F. fait suite au *Premier livre de l'amateur* et à *Comment recevoir la téléphonie*.

Notations et formules vectorielles, par A. Lafay, professeur de physique à l'École polytechnique. Paris, Gauthier-Villars et Cie, éditeurs, 1925. 1 vol. de 33 pages.

Voici un opuscule que tous les électriciens se procureront. Il est simple, clair, efficace. Écrit par un physicien, il s'adresse aux physiciens. On y trouve l'essentiel. Quand on le possède, on peut lire les mémoires de Max Abraham et de Lorentz, le traité de Breisig, etc...

Les formules du calcul vectoriel sont si concises, si suggestives ; il faut les connaître ; on les emploie de plus en plus, même en France.

Le produit scalaire de deux vecteurs α et β est désigné d'après Lorentz par de simples parenthèses : $(\alpha\,\beta)$; le produit vectoriel est désigné par des crochets : $[\alpha\,\beta]$. M. Lafay désigne un vecteur par

une lettre surlignée : $\overline{a}$; le produit scalaire est désigné par : $\overline{a}.\overline{b}$; le produit vectoriel est surligné dans son ensemble : $\overline{\overline{a.b}}$. D'ailleurs, le petit ouvrage que nous présentons au public des *Annales* donne toutes les autres notations employées par les différents auteurs. Il est extrêmement facile de passer des unes aux autres, et sans aucun effort.

M. Lafay nous donne une nouvelle démonstration extrêmement intéressante du théorème de Vaschy. Vaschy est l'honneur de notre corps d'ingénieurs. On sait en quoi consiste ce théorème : on considère un champ de vecteur et l'on démontre que ce vecteur peut être considéré comme la résultante des actions dues à des masses convenablement réparties dans le volume du champ et sur la surface qui limite ce volume, mais avec cette particularité que les masses se divisent en deux catégories : les unes, qui agissent suivant la loi de Coulomb, les autres, qui agissent suivant la loi de Laplace.

M. Lafay part de l'équation de Poisson concernant le laplacien ΔV. Si V est le potentiel électrostatique en P et si e est la densité de la quantité d'électricité, dv l'élément de volume, on a, en accentuant ce qui se rapporte au point potentiant M :

$$V = \int_U \frac{e'\,dv'}{r},$$

l'intégrale étant étendue au volume du champ U, et r désignant la distance de l'élément dv' placé en M au point P où l'on mesure le potentiel. L'équation de Poisson est :

$$\Delta V = -4\pi e,$$

e étant la valeur de e' en P. Elle suppose que le point potentié P n'est pas situé sur la surface limitant les volumes électrisés et que e est une fonction dérivable par rapport aux coordonnées du point P. On sait que la démonstration rigoureuse est longue et délicate. On la suppose acquise.

Soit maintenant γ un vecteur défini dans un certain champ ; nous employons les lettres grecques pour désigner les quantités vectorielles, les lettres latines pour désigner les quantités scalaires. Considérons le potentiel vecteur ω dû aux masses vectorielles $\gamma'\,dv'$:

$$\omega = \int_U \frac{\gamma'\,dv'}{r};$$

on aura, par une extension évidente du théorème de Poisson :

$$\Delta \omega = 4 \pi \gamma.$$

Or une des règles élémentaires du calcul vectoriel donne l'identité :

(1) $$\left[\alpha \left[\beta \gamma\right]\right] = \beta (\alpha \gamma) - (\beta \alpha) \gamma.$$

Mais on sait que le symbole « nabla »

$$\nabla : \frac{\partial}{\partial x}, \quad \frac{\partial}{\partial y}, \quad \frac{\partial}{\partial z}$$

se comporte comme un vecteur ; si donc je remplace α et β par le vecteur symbolique ∇ et γ par ω, et si j'adopte les notations :

$$(\nabla^2) = \Delta, \qquad \nabla f = -\operatorname{grad} f, \qquad [\nabla \omega] = \operatorname{rot} \omega, \qquad (\nabla \omega) = \operatorname{div} \omega,$$

c'est-à-dire si j'appelle l'opération (∇^2) le laplacien Δ, l'opération $-\nabla$ le gradient, et si $(\nabla \omega)$ et $[\nabla \omega]$ sont la divergence et le rotationnel de ω, j'aurai d'après (1) :

$$\left[\nabla \left[\nabla \omega\right]\right] = \nabla (\nabla \omega) - (\nabla^2) \omega$$

d'où :

$$4 \pi \gamma = - \quad \nabla \omega = \operatorname{grad} \operatorname{div} \omega + \operatorname{rot} \operatorname{rot} \omega,$$

et le vecteur γ se trouvera décomposé en deux composantes : l'une, étant le gradient d'une quantité scalaire, — la divergence de ω —, a un rotationnel nul ; l'autre, étant le rotationnel d'un vecteur, — le rotationnel de ω —, a une divergence nulle.

La première composante résulte de l'action de masses fictives scalaires; la seconde composante résulte de l'action de masses fictives vectorielles.

Pour le voir, il suffit de calculer $[\nabla \omega]$ et $(\Delta \omega)$ en fonction de γ.

A cet effet, il convient de faire tout d'abord deux remarques :

Première remarque : On appellera (x, y, z) les coordonnées du point P, $(x' y' z')$ celles du point M, et l'on aura :

$$r^2 = (x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2.$$

On introduira le vecteur symbolique Δ' pour les dérivées prises par rapport aux coordonnées de M, tandis que Δ se rapporte à P, soit :

$$\nabla' ; \frac{\partial}{\partial x'}, \qquad \frac{\partial}{\partial y'}, \qquad \frac{\partial}{\partial z'}$$

et l'on remarquera que l'on a :

$$\nabla \frac{1}{r} = - \nabla' \frac{1}{r}$$

Deuxième remarque : Si l'on appelle ν' le vecteur unité, dirigé vers l'extérieur, normal à la surface S qui limite le champ U, lorsque le point M vient à la limite du champ, on a :

$$\int_U \left(\nabla' . \frac{\gamma'}{r}\right) dv' = \int_S \frac{(\nu'\gamma')}{r} dS',$$

$$\int_U \left[\nabla' . \frac{\gamma'}{r}\right] dv' = \int_S \frac{[\nu'\gamma']}{r} dS'.$$

La démonstration s'achève alors sans peine, si l'on s'appuie sur la légitimité de l'interversion des opérations de dérivation vectorielle ∇ et de sommation, si l'on substitue $-\nabla'$ à ∇, et si l'on opère l'intégration par parties. Il suffit de poser :

$$a = \int_S \frac{1}{4\pi} \frac{(\nu'\gamma')}{r} dS' + \int_U \frac{1}{4\pi} \frac{(\nabla'\gamma')}{r} dv',$$

$$\alpha = \int_S \frac{1}{4\pi} \frac{[\nu'\gamma']}{r} dS' + \int_U \frac{1}{4\pi} \frac{[\nabla'\gamma']}{r} dv',$$

pour vérifier que l'on a bien :

$$\gamma = \text{grad}\, a + \text{rot}\, \alpha,$$

a étant un potentiel scalaire, α un potentiel vecteur ; et de plus, grad a est le champ dû à des masses scalaires agissant selon la loi de Coulomb et rot α est le champ dû à des masses véctorielles agissant selon la loi de Laplace.

En terminant, nous devons nous excuser d'avoir employé les notations auxquelles nous sommes habitués au lieu de celles de M. Lafay ; il a sans doute raison de préférer les siennes, parce qu'elles se rattachent à celles qu'employait M. Résal dans son cours de mécanique à l'École polytechnique, c'est-à-dire à l'école même où M. Lafay enseigne la physique.

Nous ne saurions trop engager nos lecteurs à se procurer l'ouvrage de M. Lafay : c'est là qu'avec le moindre effort ils apprendront tout ce qu'il est nécessaire de savoir.

J.-B. Pomey.

Théorie nouvelle de la probabilité des causes, par Sta-

nislas MILLOT, capitaine de corvette en retraite. Paris, Gauthier-Villars, 1925, un vol. in-8° raisin de 35 pages. Prix : 5 francs.

Exposant, en 1812, le plan de sa théorie analytique des probabilités, Laplace mettait la probabilité des causes au premier rang des questions les plus délicates, les plus difficiles et en même temps les plus utiles de cette théorie, questions qu'il voulait traiter spécialement : « Je m'attache surtout à déterminer la probabilité des causes et des résultats indiqués par les événements considérés en grand nombre », déclarait-il avec une vision très juste du rôle important que pourrait jouer cette branche du calcul des probabilités dans les recherches scientifiques et dans les applications de la vie courante.

De fait, les types de problèmes dont Laplace a fourni des solutions sont devenus d'un intérêt sans cesse croissant. Et pourtant certains de ces problèmes semblent pratiquement méconnus. Les raisons de cet abandon sont sans doute : en premier lieu, les difficultés que présente la lecture des œuvres du grand mathématicien français, même pour un public cultivé; en second lieu, la complexité des calculs numériques auxquels conduisent ses formules.

L'auteur de la présente brochure a réussi, en parlant des résultats universellement admis pour la probabilité *a priori*, à établir une nouvelle théorie de la probabilité *a posteriori* qui échappe à ces deux inconvénients. Elle est assez claire et assez élémentaire pour rester accessible à la plupart des travailleurs scientifiques, et son application pratique est assez simple pour ne rebuter personne.

Le Gérant,

LÉON EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

..ᵉ ANNÉE. — N° 6. JUIN 1925. PRIX : 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 RUE THENARD PARIS, Vᵉ.

...x de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger......... 44 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

AVIS

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une Commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette Commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VIIe.

Membres de la Commission :

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

OLIVER HEAVISIDE,

Par J. BETHENOD,

Ingénieur en chef de la Compagnie générale de télégraphie sans fil,

« The way of life is wonderful;
it is by renunciation. »
(*Electromagnetic Theory* :
préface du volume III.)

Le 4 février 1925, à l'âge de soixante-quinze ans, Oliver Heaviside est mort des suites d'une chute d'échelle; ainsi disparaît un des plus grands savants dont puisse s'enorgueillir la patrie de Newton. Pourtant, bien des ingénieurs électriciens qui utilisent chaque jour les termes *impédance*, *inductance*, *réluctance*, etc. ignorent qu'ils furent créés, il y a quarante ans, par le cerveau si original d'Oliver Heaviside; à certains même, sans doute, ce nom est complètement inconnu.

La vie si retirée qu'il mena depuis 1874 jusqu'à sa mort, dans la petite ville de Torquay, a contribué sans doute à entretenir cette ignorance, mais l'œuvre d'Oliver Heaviside, qui fut avant tout un mathématicien d'une originalité déconcertante, n'a pu être appréciée complètement qu'à une époque relativement récente, grâce aux publications des Kennelly, Steinmetz, Pupin, etc. qui l'ont mise à la portée des ingénieurs. D'autres sont certainement plus qualifiés que moi pour analyser la valeur exceptionnelle de cette œuvre, mais j'ai eu le bonheur d'échanger avec lui, pendant sept années, une correspondance assez volumineuse, au cours de laquelle je reçus un certain nombre de détails précis sur la carrière et la vie du grand savant; j'ai pensé que la publication de quelques-uns des renseignements ainsi recueillis constituerait un hommage de plus à la mémoire d'Oliver Heaviside, en faisant ressortir l'admirable exemple d'une vie exclusivement consacrée à la science, exemple si rare dans l'histoire de l'humanité.

Né à Londres en 1850, il fut, tout jeune encore, employé pendant quelque temps au service de la Great Northern Telegraph Co, à Newcastle on Tyne, où vivait alors son frère A. W. Heaviside, lui-même ingénieur télégraphiste très distingué. Ce fut déjà pendant cette première période de sa vie qu'il commença à s'intéresser, d'une façon vraiment prodigieuse, à l'étude théorique des phénomènes électriques. Voici d'ailleurs en quelles circonstances mémorables cette irrésistible vocation se confirma :

« Je me souviens, m'écrivait-il le 24 février 1918, de mon premier coup d'œil sur le grand traité de Maxwell, quand j'étais jeune homme (1). Il n'existait alors aucune théorie compréhensive, quelques fragments (scraps) seulement ; je cherchais ma voie pour comprendre l'électricité, au milieu d'une grande obscurité. Quand je vis sur la table de la librairie l'ouvrage qui venait de paraître (1873), je me mis à le parcourir, et je fus étonné ! Je lus la préface et le dernier chapitre, et quelques morceaux par ci par là ; je vis que cela était grand, plus grand, et le plus grand (it was great, greater and greatest), avec de prodigieuses possibilités dans sa puissance. Je me commandai le livre sur le champ, et me fixai au travail. J'étais très ignorant (2). Je n'avais aucune connaissance de l'analyse mathématique (ayant appris juste l'algèbre scolaire et la trigonométrie, que j'avais fortement oubliées), et ainsi me fut tracé mon travail. Cela me prit quelques années avant que j'eusse compris aussi bien que je le pouvais vraisemblablement. Je mis alors Maxwell de côté, et suivis ma propre voie. Et j'avançai beaucoup plus vite. »

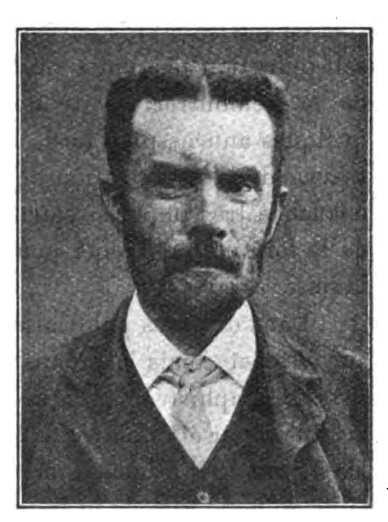
Les admirables travaux d'O. Heaviside sont rassemblés dans deux séries de volumes : *Electrical Papers* édités en 1892 par Macmillan, et *Electromagnetic Theory* édités par *The Electrician* ; les trois volumes de ce dernier ouvrage reproduisent d'ailleurs une longue série d'articles parus dans la revue d'électricité en question, et sont consacrés aux travaux accomplis

(1) Je traduis le texte anglais aussi littéralement que possible, de peur d'en altérer la pensée.

(2) En réalité, O. Heaviside avait déjà publié quelques études, en 1870, dès sa vingtième année.

depuis 1891 jusqu'en 1912, époque à laquelle O. Heaviside semble avoir cessé toute publication. Je n'ai pas l'intention d'analyser ici, même très succinctement, les divers chapitres de ces ouvrages ; d'ailleurs, les volumes de *Electromagnetic Theory* ont été réimprimés par E. Benn, et il est certain que, dans un avenir très prochain, ils auront leur place dans la bibliothèque de tous ceux qui s'intéressent à l'étude théorique de l'électricité.

Cependant je ne peux résister au désir de rappeler en quelques mots le sujet des premières publications d'Oliver Heaviside. Elles furent rassemblées pour former les deux volumes de *Electrical Papers*, complètement épuisés depuis longtemps, dans les conditions suivantes précisées par une lettre du 11 décembre 1917 : « La plus grande partie de mon lourd travail se trouve dans les *El. Pap.* Il fut démontré que je le publiais trop tôt. Je crois qu'environ 350 exemplaires furent vendus ; et 400 encore en feuillets furent soldés par les éditeurs à un chiffonnier. » D'ailleurs, la plupart de ces derniers exemplaires furent revendus à l'éditeur de *The Electrician* qui les fit relier, et un lot important fut expédié en Amérique.



Oliver Heaviside.

Le premier article reproduit dans les *Electrical Papers* fut publié le 5 juillet 1872 dans *English Mechanic* ; il indique une méthode de comparaison des forces électromotrices, proposée également vers la même époque par E. Lacoine. Une réclamation de priorité fut d'ailleurs faite par O. Heaviside dans le *Telegraphic Journal* du 15 mai 1873. Dans le *Philosophical Magazine* de février 1873 se trouve une étude très remarquable sur le meilleur arrangement du pont de Wheatstone pour mesurer une résistance déterminée avec un galvanomètre et une pile donnés.

Mais, sans m'arrêter à diverses publications affectuées avant 1883 à propos du télégraphe duplex, de la capacité électrostatique des fils aériens, etc., je mentionnerai une œuvre capitale publiée dans le *Philosophical Magazine* d'août 1876 sous le titre assez curieux *On the extra current.* Dans cet article, la célèbre équation dite des télégraphistes se trouve appliquée au cas du télégraphe. La solution complète fut trouvée par O. Heaviside en s'inspirant des travaux de Fourier; d'ailleurs il établit l'équation en question en admettant l'existence de la capacité et de la self-induction par unité de longueur, sans d'ailleurs se soucier de la démontrer. Cette notion entièrement nouvelle devait, quelques années plus tard, faire progresser très rapidement la théorie de la propagation de l'électricité le long des fils, théorie ébauchée très imparfaitement en 1857 par Kirchhoff, en partant de la formule de Weber pour le calcul de la force électromotrice induite.

Dans diverses publications ultérieures, O. Heaviside revient sur le sujet; mais la première application précise de l'équation des télégraphistes appliquée au téléphone à longue distance semble avoir été publiée le 23 juillet 1886 dans *The Electrician.* Le 3 juin 1887, dans le même journal, se trouve démontrée la fameuse condition de la ligne sans distorsion :

$$\frac{R}{L} = \frac{K}{S}.$$

Je rappellerai ici que, dans *La Lumière électrique* du 23 juillet 1887, le grand savant français A. Vaschy, disparu si prématurément, établit l'équation des télégraphistes, dans l'ignorance des travaux de Kirchhoff et de Heaviside. Il l'applique au cas du téléphone et calcule l'effet d'une section en câble souterrain intercalé sur une ligne aérienne, et celui des appareils transmetteur et récepteur; d'ailleurs dans les *Annales télégraphiques* de août-juillet 1884, p. 322, Vaschy avait déjà annoncé, sans malheureusement publier ses calculs, que la transmission téléphonique pouvait être notablement améliorée par l'intervention de la self-induction. Ainsi, l'importante question de la téléphonie à longue distance a été l'objet de travaux indépendants et contem-

porains de la part de deux grands savants qui n'en tirèrent aucun profit matériel, en dépit de l'énorme intérêt pratique des résultats.

A l'époque où ces travaux furent publiés, la seule règle admise par les ingénieurs téléphonistes était celle proposée par W. H. Preece qui négligeait complètement l'effet de la self-induction ; cette règle fut vivement critiquée par A. Vaschy et surtout par O. Heaviside, qui apporta à la discussion une âpreté justifiée par le dédain avec lequel les ingénieurs du gouvernement anglais traitèrent ses propositions. En effet, non seulement O. Heaviside avait compris complètement la théorie de la propagation des courants téléphoniques, mais il avait suggéré l'emploi de limaille de fer agglomérée avec un isolant pour augmenter artificiellement la self-induction (voir notamment *The Electrician*, 23 juillet 1887) ! D'ailleurs, il se considérait comme le véritable *inventeur* des dispositifs modernes appliqués à la charge des câbles téléphoniques, mais malheureusement il était trop en avance sur les techniciens de l'époque, et de plus, la question des brevets lui était complètement étrangère.

Un volume déjà important suffirait à peine pour l'analyse des travaux de Heaviside, et j'espère qu'une telle publication sera entreprise dans un prochain avenir. On peut affirmer qu'en ce qui concerne la propagation des ondes électromagnétiques le long des fils et dans l'espace, tout se trouve déjà dit dans les *Electrical Papers* et dans *Electromagnetic Theory*. D'ailleurs, même les théories électroniques modernes lui doivent leurs bases théoriques essentielles, établies dans une série d'articles, notamment dans celui paru dans le *Philosophical Magazine* d'avril 1889, à propos des effets électromagnétiques dus au mouvement d'une charge électrique. Tous ces travaux ont été accomplis à l'aide de méthodes d'analyse extrêmement personnelles, qui classent leur auteur au rang des mathématiciens les plus illustres.

Certains des résultats ainsi obtenus peuvent du reste être employés avec avantage par les techniciens de l'électricité ; c'est par exemple le fameux théorème du développement (*expansion*

theorem), conduisant à la formule générale si remarquable

$$i = \frac{e}{Z_0} + \Sigma \frac{e}{pZ'} \varepsilon^{pt},$$

qui donne en régime variable le courant i créé dans la branche d'un réseau, soumis à l'action d'une force électromotrice constante e, Z étant *l'opérateur de résistance*, exprimé en fonction du symbole de dérivation p ou $\frac{d}{dt}$, Z_0 la valeur de Z pour $p = o$, Z' désignant le coefficient différentiel $\frac{dZ}{dp}$, et enfin la sommation s'étendant à toutes les racines de l'équation $Z = 0$.

Ce théorème fut établi dans un article paru dans le *Philosophical Magazine* de décembre 1887 ; il est reproduit sans démonstration dans le volume II de *Electromagnetic Theory*, page 127, et ceci a amené récemment divers auteurs à essayer d'en produire une preuve aussi rigoureuse que possible, en l'étendant en l'étendant en outre au cas où la f. é. m. appliquée est périodique [1].

A l'heure actuelle, les méthodes de Heaviside se répandent de plus en plus, et même, grâce aux efforts de professeurs tels que M. Pomey et le dr E. J. Berg de Schenectady, elles commencent à s'introduire dans l'enseignement. Il est donc certain que, dans un avenir peu éloigné, elles deviendront familières à de nombreux électriciens et physiciens. En dépit de l'apparence parfois un peu rébarbative de ses calculs, O. Heaviside aimait à considérer les mathématiques comme un art, et à répéter les sentences suivantes « Mathematics is an experimental science », « Rigorous mathematics is narrow, physical mathematics bold and broad », etc.

Du reste, malgré ses aptitudes extraordinaires en mathéma-

---

(1) Voici une bibliographie relative à ces études :
K. W. Wagner. *Archiv. für Elektrotechnik*, 1916, Band IV, p. 159 ;
J. R. Carson. *Physical Review*, septembre 1917, p. 217 ;
A. Press. *Revue Générale de l'Electricité*, 9 novembre 1918, p. 691 ;
J. R. Carson. *Revue Générale de l'Electricité*, 17 mai 1919, p. 715 ;
L. C. Cohen. *Journal of the Franklin Institute*, vol. 194, décembre 1922 ;
J.-B. Pomey. *Revue Générale de l'Electricité*, 19 mai 1923, p. 813.

tiques, O. Heaviside s'est attaché à résoudre certains problèmes d'ordre moins théorique, et je rappellerai ici quelques articles, trop généralement ignorés, qui montrent toute l'étendue de son œuvre.

C'est d'abord une étude sur les générateurs de courant magné-électriques, parue dans le *Jour. Soc. Tel. Eng.* de juin 1881, et consacrée en fait à la théorie élémentaire des alternateurs. A la fin de cette étude, une note signale la publication du travail classique de J. Joubert, reproduit dans le numéro du 18 juin 1881 de *The Electrician*, pendant l'impression de l'article de Heaviside (1). Ainsi le nom de celui-ci se trouve associé une seconde fois à celui d'un grand savant français.

Dans le numéro du 10 février 1883 de *The Electrician*, on trouve une étude fort approfondie sur la théorie du microphone et de la résistance des contacts en charbon ; elle montre que son auteur ne dédaignait pas les recherches expérimentales, et avait conservé, des occupations de sa première jeunesse, un esprit d'observation tout à fait remarquable.

Dans la même revue, le 3 mai 1884, O. Heaviside s'attaque au problème des courants induits dans les masses et noyaux métalliques, et le traite pour les cas les plus variés (c'est d'ailleurs dans cet article qu'il est fait usage, pour la première fois, du mot *impédance*).

Le 11 février 1887, toujours dans la même revue, il fournit l'explication rigoureuse du rôle de l'aimant permanent dans le téléphone. Bien peu d'électriciens connaissent l'exacte origine de cette explication, devenue pourtant classique depuis longtemps.

Le nom de Heaviside, qui n'était connu avant 1900 que de quelques rares mathématiciens et ingénieurs télégraphistes, a sans doute été rendu populaire récemment parmi les radiotélégraphistes qui ont tous entendu parler de la fameuse couche aérienne de Heaviside, dont la probabilité a donné lieu, dernière-

(1) L'étude de J. Joubert fait l'objet de trois notes communiquées à l'académie des sciences les 26 juillet, 6 et 13 septembre 1880. Elle est résumée dans *La Lumière Electrique* du 1er octobre 1880.



ment encore, à de nombreuses controverses. (L'hypothèse de l'existence d'une semblable couche a été émise en 1900.) Mais, en raison des travaux que je viens de rappeler sommairement, ce nom devrait être connu de tous les électriciens, même des praticiens.

Le style de Heaviside était aussi original que son génie, et la curieuse facture de ses écrits amusait, parmi les lecteurs de *The Electrician*, même ceux qui ne possédaient pas les connaissances nécessaires pour les bien comprendre. Beaucoup de chapitres de ses livres débutent par des historiettes parfois seulement amusantes, parfois parsemées de quelque amertume. Il aimait d'ailleurs la correspondance, sinon les visites; c'est toujours avec une extrême admiration et un vif étonnement que je relis les lettres reçues de lui, écrites d'une petite écriture fine et serrée, tantôt très nette, tantôt visiblement déformée par la maladie, car sa santé était précaire et il ne put atteindre un âge aussi avancé qu'en menant une vie de véritable ermite.

Tous les sujets lui étaient familiers, et il excellait à conter les anecdotes; sa culture générale était certainement exceptionnelle. Immédiatement après l'armistice, il avait, sur la paix à conclure, des idées dont la justesse a été largement démontrée depuis par les événements.

Il vivait complètement isolé et de façon très modeste, ne recevant que de très rares visites, faisant sa cuisine lui-même, et s'occupant des soins du ménage. Ce fut, malheureusement sans doute, au cours de cette dernière occupation qu'il fit la chute dont il est mort.

Avant de mourir, il eut, par bonheur, la certitude que son œuvre considérable était enfin appréciée comme il convient, et pendant les trois ou quatre dernières années de sa vie il put acquérir la conviction que son nom deviendrait immortel.

APPLICATIONS DE LA RADIOGONIOMÉTRIE A LA NAVIGATION AÉRIENNE :

VOYAGE PARIS — CUERS — BORDEAUX — PARIS (1),

Par le commandant P. FRANCK,
du service technique de l'aéronautique.

Quand M. l'inspecteur général Pomey a bien voulu me demander de vous faire cette conférence, je pouvais d'autant moins refuser cet honneur, que j'avais une dette de reconnaissance envers l'administration des P. T. T.. C'est en effet grâce à l'amabilité de M. le directeur du service de la télégraphie sans fil et au zèle de son personnel qu'il m'a été possible de mener à bien le voyage dont je vais vous parler. Il me fallait en effet être sûr d'entendre la Doua et Croix-d'Hins pour m'orienter sur eux. Or leurs heures de service ne coïncidaient pas toujours avec mes heures de vol, et j'avais besoin d'émissions spéciales ; elles ont été faites avec une grande régularité. Ce n'est donc pas d'une simple question d'aviation que je viens vous parler, mais d'un travail effectué en collaboration par l'Aviation et vos services.

Vous n'ignorez pas les nombreuses facilités que la T. S. F. a déjà procurées à la navigation maritime, ni la grande variété des procédés qui permettent aux marins d'utiliser des radiogoniomètres et des radiophares. Tous les mêmes procédés sont applicables à la navigation aérienne. Je n'ai pas l'intention de discuter la valeur respective de chacun d'eux : je pense qu'ils peuvent tous être utiles et qu'il faut s'inspirer des circonstances et des conditions dans lesquelles on se trouve pour déterminer lesquelles ont doit employer.

Mais, pour limiter cette conférence, nous ne parlerons

(1). Conférence faite à l'École supérieure des Postes et Télégraphes le 16 janvier 1925.

aujourd'hui que de radiogoniométrie. Elle peut servir aux aviateurs sous deux formes : des radiogoniomètres placés à terre peuvent repérer la direction d'un avion muni d'un poste émetteur; un radiogoniomètre placé à bord d'un avion peut repérer la direction dans laquelle il se trouve par rapport à un poste émetteur placé à terre. Pour restreindre encore notre sujet, nous nous bornerons à l'étude de l'emploi du radiogoniomètre placé à bord. Nous exposerons les principes généraux de cet emploi, et nous les illustrerons ensuite par l'exemple d'un voyage effectué exclusivement par ce procédé de navigation.

Les types de radiogoniomètres.

Tout d'abord, quelle radiogoniomètre convient-il d'employer?

Les différents radiogoniomètres peuvent se ramener à trois types : le radiogoniomètre à cadre mobile par rapport à l'avion, le radiogoniomètre à cadre fixe par rapport à l'avion, enfin le radiogoniomètre Bellini-Tosi à double cadre.

Le radiogoniomètre à cadre mobile comportera un cadre mobile autour d'un axe vertical. Un condensateur variable permettra de l'accorder sur telle longueur d'onde que l'on désire, et il pourra être couplé par quelques spires avec un appareil amplificateur et récepteur. De même que dans la radiogoniométrie à terre, la force du signal reçu dépendra de l'orientation du cadre par rapport à la station émettrice : maximum lorsque le plan du cadre sera dirigé vers cette station, elle sera nulle lorsque le cadre occupera la position perpendiculaire. Dans la pratique, on recherche plutôt cette dernière position, dite d'extinction, car l'extinction d'un son est plus facile à apprécier que son maximum, et l'appareil est aussi plus sensible aux environs de l'extinction.

On peut également se servir d'un cadre fixe par rapport à l'avion. Dans ce cas, c'est l'avion tout entier qu'il faudra faire tourner autour d'un axe vertical, de manière à obtenir, dans le casque, l'extinction du signal que l'on écoute.

Enfin le radiogoniomètre Bellini-Tosi se compose de deux cadres fixes, perpendiculaires l'un à l'autre. Ces deux cadres sont reliés à deux bobines primaires qui leur sont parallèles. Quand la bobine secondaire tourne à l'intérieur de ceux-ci, on observe les mêmes maxima et les mêmes zéros que si l'on recevait sur un cadre tournant.

La méthode employée dans le voyage dont je vais vous parler est celle du cadre unique, mobile par rapport à l'avion ; mais les deux autres procédés pourraient être utilisés dans des conditions différentes.

Pour comprendre les raisons de ce choix, il faut d'abord connaître les difficultés qu'on éprouve lorsqu'on installe un radiogoniomètre à bord d'un avion, et savoir comment on l'utilise pour naviguer.

Difficultés d'installation d'un radiogoniomètre a bord.

Les difficultés d'installation et d'emploi sont de deux ordres : mécanique et électrique.

Difficultés mécaniques. — Les *difficultés mécaniques* concernent l'installation des cadres eux-mêmes. On pourra parfois ne pas avoir la place d'installer un cadre mobile ni disposer du personnel nécessaire pour le desservir.

Difficultés électriques. — Les *difficultés électriques* sont de deux ordres : d'une part les *bruits parasites* causés par les dispositifs d'allumage du moteur du bord, et d'autre part les *erreurs de mesure*.

1° *Bruits parasites.* — Les bruits paraissent dus à un phénomène très complexe et encore assez mal connu. On peut leur assigner trois causes, agissant simultanément :

a) le *champ électromagnétique de haute fréquence* provenant de l'action, sur les circuits oscillants voisins, des étincelles d'allumage. La difficulté d'éliminer ces oscillations provient de ce que leur fréquence est régulièrement variable dans des limites

très étendues. Ceci résulte de relevés pris, à l'aide d'un oscillo-

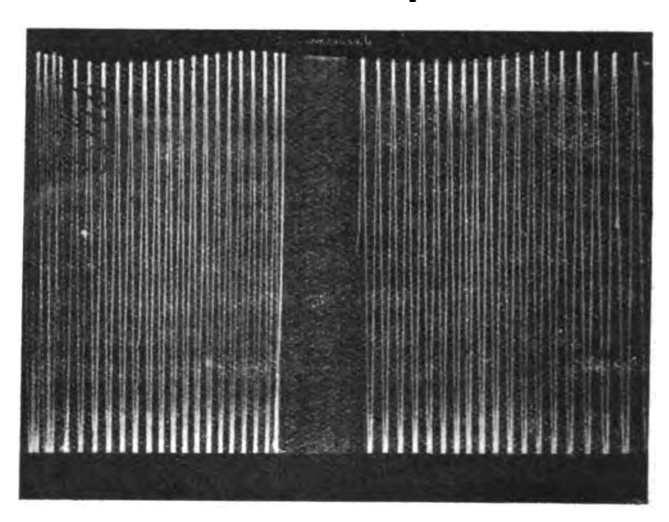


Fig. 1. — Oscillogramme donnant les fréquences des oscillations de haute fréquence produites par l'étincelle d'allumage d'un moteur Salmson.

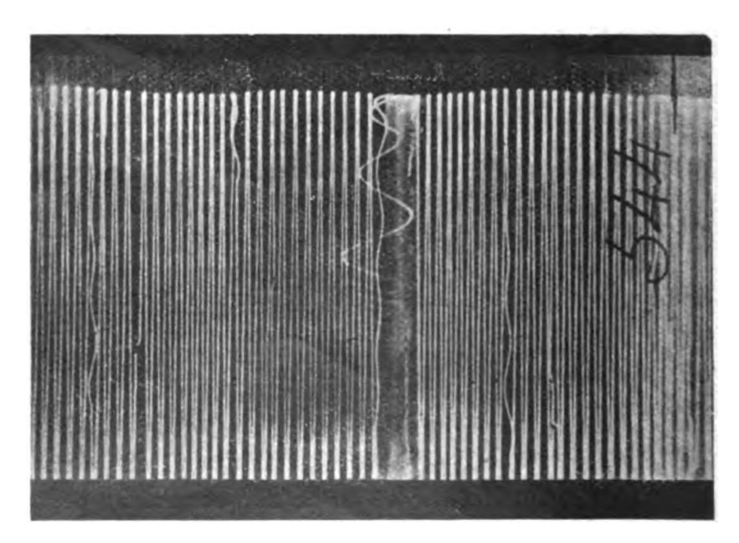


Fig. 2. — Oscillogramme obtenu avec la magnéto d'un moteur Renault.

graphe cathodique Dufour, par M. Mesny. On voit, sur ces oscillogrammes (fig. 1 et 2), que l'oscillation, d'abord de fréquence si élevée qu'on ne distingue sur la plaque qu'une

région floue, diminue régulièrement jusqu'à présenter l'aspect très net d'une sinusoïde de période variable. Ce champ électromagnétique de haute fréquence a surtout une action directe sur les circuits de l'appareil récepteur.

b) *le champ magnétique de basse fréquence*, formé par les lignes de force qui s'échappent du circuit magnétique de la magnéto et qui varient avec une fréquence qui dépend de la vitesse de rotation de celle-ci. La figure 3 montre deux diagrammes indiquant la distribution de ces lignes de force, établis à la suite d'expériences faites par M. Loth. Ce champ magnétique agit plus spécialement sur le cadre radiogoniométrique.

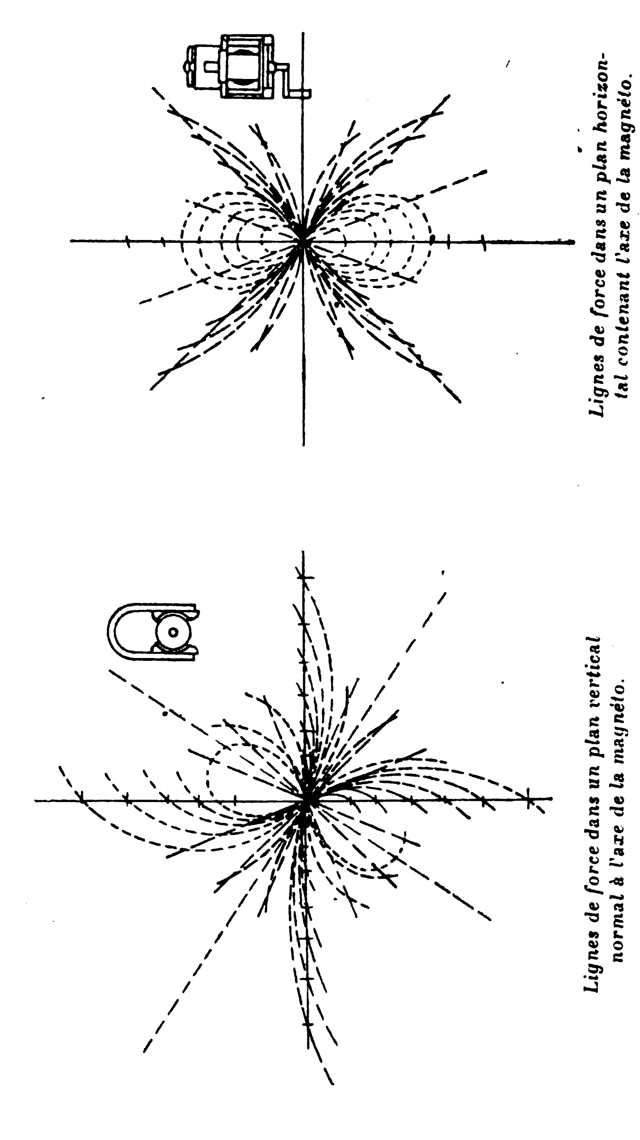
c) les *charges statiques* prises, avant l'éclatement de l'étincelle, par les parties métalliques du moteur et de l'avion, et qui disparaissent brusquement quand l'étincelle éclate. Cette dernière cause de trouble agit surtout sur les appareils.

Les remèdes à ces troubles sont variés comme leurs causes elles-mêmes.

On peut en employer qui agissent sur les circuits d'allumage, et d'autres qui protègent directement les appareils récepteurs.

1) On a d'abord proposé le *blindage de tous les conducteurs d'allumage*, de la magnéto et des bougies elles-mêmes, de manière que toutes les parties qui peuvent rayonner à l'extérieur soient en cage de Faraday. Il faut d'ailleurs, pour que ce système soit efficace, que les blindages soient mis à la masse tous les 15 ou 20 centimètres. Ces blindages ne sont pas absolument inefficaces ; mais, généralement, ils ne suffisent pas à eux seuls pour supprimer tout brouillage.

2) D'après un brevet allemand, on peut *disposer un circuit de retour*, de résistance très faible, entre le corps de la bougie qui est à la masse du moteur et le pôle négatif de la magnéto qui lui est également relié. D'un autre côté, un conducteur de grande résistance (chaîne rouillée), rejoignant le pôle positif de la bougie au pôle à haute tension de la magnéto, causera une grande résistance et par conséquent un grand amortissement des oscillations de haute fréquence après le passage de l'étincelle.



Lignes de force dans un plan vertical normal à l'axe de la magnéto.

Lignes de force dans un plan horizontal contenant l'axe de la magnéto.

Fig. 3. — Ligne de force du champ magnétique produit par une magnéto d'allumage.

On peut aussi chercher à agir sur les appareils de réception.

3) M. Loth a placé, au voisinage des magnétos, de petits *cadres compensateurs* qui, convenablement orientés dans le champ magnétique, intense à cet endroit, sont le siège de courants induits, égaux et de sens contraires à ceux qui sont induits par le même champ dans le cadre radiogoniométrique. On monte celui-ci en opposition avec les deux cadres compensateurs ; on

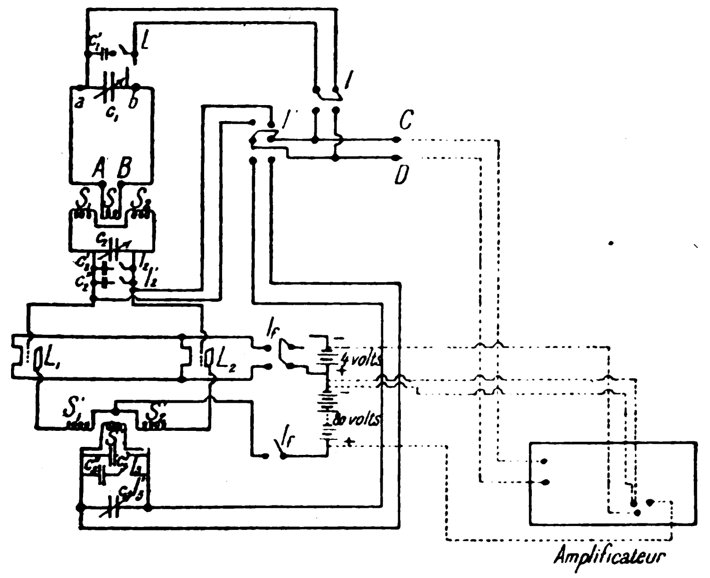


Fig. 4. — Schéma de réception radiogoniométrique.

annule ainsi le courant parasite. Comme les cadres compensateurs sont très petits, ils ne diminuent pas sensiblement le courant induit par le champ qu'il s'agit de recevoir.

4) Des *cages de Faraday* entourant les différentes parties des appareils amplificateurs, récepteurs, accumulateurs, atténuent les réactions mutuelles. Il est, en particulier, très important que le cadre et les appareils ne puissent réagir l'un sur l'autre.

5) M. Mesny a montré qu'il y avait avantage à adopter un *montage symétrique* des circuits. De cette manière, tout effet produit par un champ électrique sur un élément de circuit est compensé par l'effet que produit le même champ sur l'élément symétrique. C'est ainsi que, sur le diagramme de la figure 4, on

observe que la self de couplage du premier amplificateur est composée de deux parties symétriquement placées par rapport à la self de couplage du cadre.

2° *Erreurs de mesure.* — Les observations que nous ferons seront sujettes à des *erreurs de mesure*. La radiogoniométrie à bord d'avion est sensiblement plus compliquée que la radiogoniométrie à terre. Ce que l'on mesure directement, c'est en effet l'angle de la direction du poste émetteur avec l'axe de l'avion. Il reste encore à connaître l'angle de cette direction avec la direction du nord géographique. Cet angle est donné par la boussole qui se trouve à bord ; et les erreurs de nos observations seront la somme des erreurs individuelles de ces deux mesures bien distinctes.

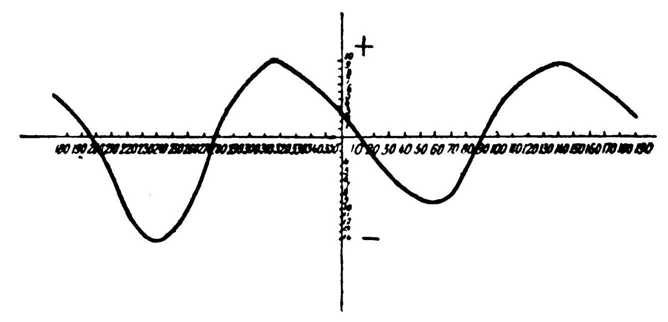


Fig. 5. — Courbe d'erreur quadrantale de l'avion Goliath.

On peut compter qu'avec un *compas* de grande navigation bien compensé, un pilote naviguant en ligne droite maintient son cap exact à moins de 2° près. Par contre, dans les virages, la rose du compas suit avec un certain retard le mouvement de l'avion, et les lectures n'ont plus aucune précision.

Les erreurs commises en lisant les *indications du radiogoniomètre* proviennent de ce que les différentes parties de l'avion forment des circuits qu'on peut assimiler à des cadres ou à des antennes. Ces circuits, sous l'influence de l'émission du radiophare, sont le siège d'oscillations. Celles-ci agissent à leur tour sur le cadre récepteur et provoquent des erreurs. Une description de ces phénomènes est donnée par un article de M. Chaudler, dans

le *Journal of the Institution of Electrical Engineers* (1923), dont on trouvera une analyse dans le numéro de novembre 1924 de l'*Onde électrique*. M. Chaudler distingué, parmi ces erreurs, une erreur quadrantale (effet cadre), c'est-à-dire représentée par une sinusoïde dont la période est de 360° ; une erreur constante

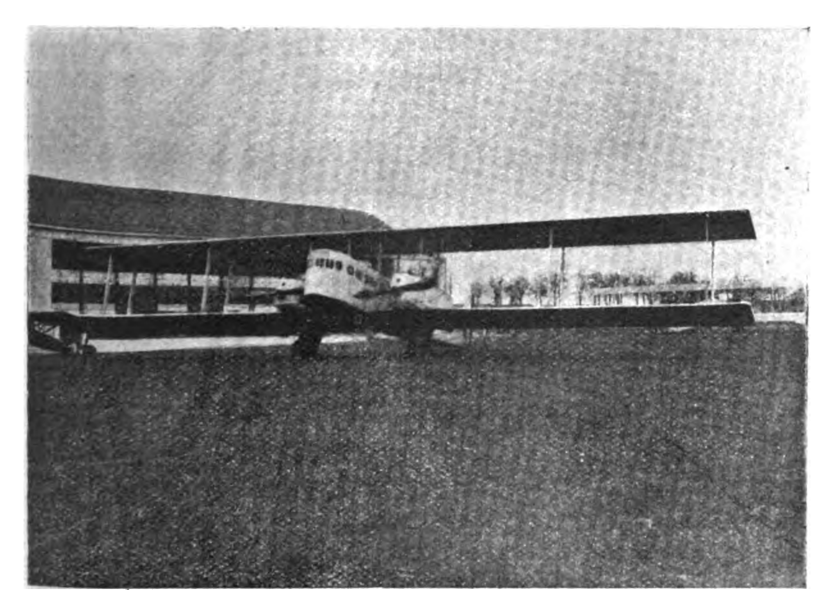


Fig. 6. — L'avion Goliath, à bord duquel ont été effectués les essais de navigation par radiogoniométrie.

(effet antenne) ; enfin des erreurs dues aux ondes elles-mêmes.

L'étude expérimentale de ces erreurs a été faite à la section technique de l'Aéronautique. Au cours de cette étude, on a établi les courbes qui sont reproduites sur les figures 5, 7 et 8. La première de ces courbes a été relevée sur un avion à terre. On le faisait tourner et l'on relevait toujours le même poste. De cette manière, la direction à relever passait systématiquement par les divers azimuts, rapportés à l'axe de l'avion. Les autres courbes ont été relevées de la même manière sur un avion en vol. On peut observer que ces courbes sont légèrement différentes. En comparant les courbes relatives à des ondes de longueurs comprises entre 1.200 et 2.400 mètres avec celles que l'on obtient

pour des longueurs d'ondes entre 2.000 et 8.000 mètres, on peut

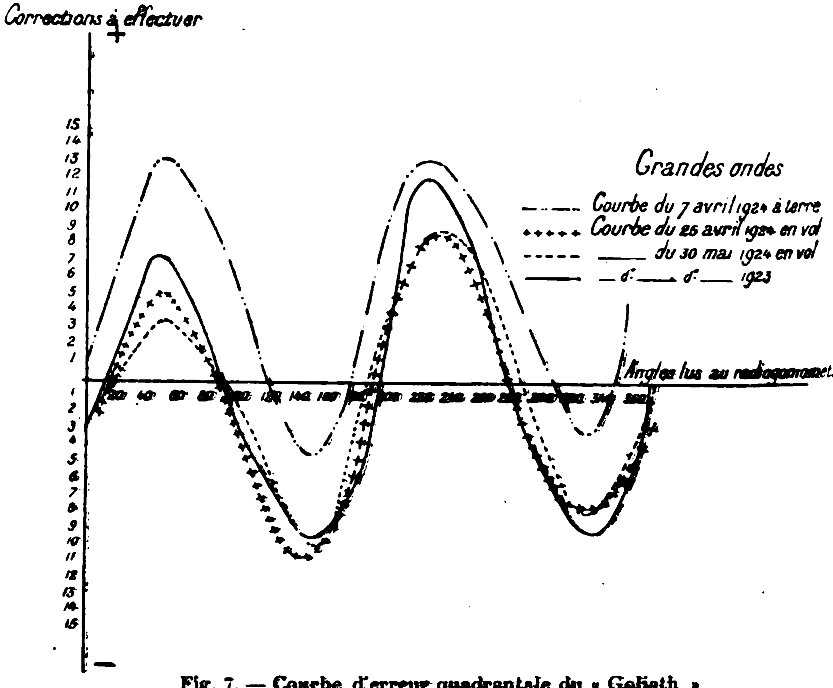


Fig. 7. — Courbe d'erreur quadrantale du « Goliath ».
(Réception de 1200 à 2400 mètres.)

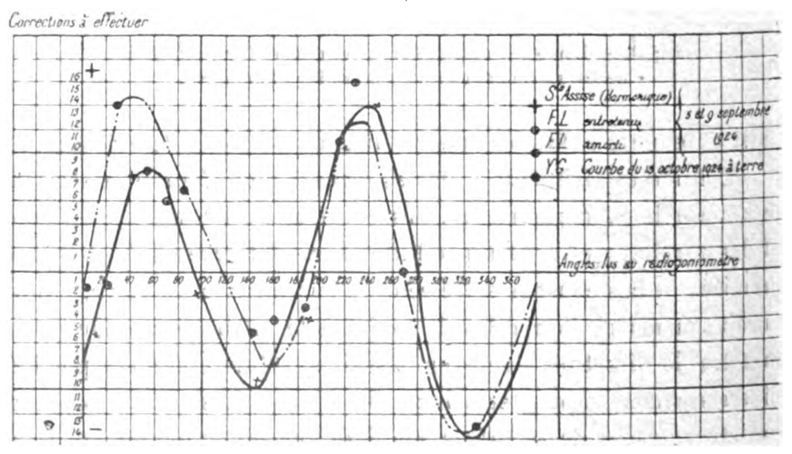


Fig. 8. — Courbe d'erreur quadrantale du « Goliath »,
(Réception de 2000 à 3000 mètres.)

constater, comme il était à prévoir, qu'elles diffèrent les unes des autres.

Par contre, l'écart entre la courbe faite à terre et la courbe faite en vol suit une loi analogue dans les deux cas. Avant de laisser ces courbes, il est bon d'observer que, si l'erreur est assez bien déterminée près du sommet de ces sinusoïdes, elle l'est au contraire assez mal au voisinage de l'axe horizontal, la pente de la courbe en ces points étant très accentuée. Il en résulte que les corrections que l'on peut faire en utilisant ces courbes sont bonnes au voisinage des maxima, mais peuvent être très erronées au voisinage des points zéro.

Comment on utilise le radiogoniomètre pour naviguer.

Il nous reste maintenant à examiner différentes manières de naviguer en se servant de la radiogoniométrie. Les trois méthodes principales consistent :

1° à faire le point;

2° à naviguer sur un alignement;

3° à naviguer à l'extinction.

La **première méthode** consiste à *relever sa position* à l'aide de plusieurs stations émettrices, exactement comme un navire relève sa position en mer à l'aide de plusieurs phares. L'observation des azimuts de deux stations connues suffit théoriquement à déterminer la position de l'avion sur la carte à l'intersection de deux lignes droites, et l'observation d'une troisième station permet d'avoir une idée de l'erreur commise, la troisième droite formant en général un triangle avec les deux premières. Cette méthode est plus difficile à appliquer à bord d'un avion qu'à bord d'un navire. En effet, même en admettant que les azimuts cherchés soient très soigneusement corrigés des erreurs dont je parlais tout à l'heure, il n'en demeure pas moins que, pendant la durée d'une à deux minutes nécessaire pour faire une mesure soignée, l'avion aura parcouru une distance de trois à six kilomètres environ, et par conséquent la seconde et la troisième observations ne se rapporteront pas au point d'où a été prise la première. On voit donc qu'il faudra, comme en mer, avoir une

idée approximative de l'endroit où l'on se trouve, et de la vitesse avec laquelle on navigue, en grandeur et en direction, pour apporter aux mesures faites les corrections nécessaires.

La **seconde méthode** consiste à naviguer en prenant un *alignement*. Il faut pour cela qu'un émetteur sur lequel on puisse faire des mesures radiogoniométriques se trouve en un point quelconque de l'alignement qu'on veut suivre. On a repéré au préalable l'angle de cet alignement avec le nord. On part en mettant le cap dans le direction à suivre et, périodiquement, tous les quarts d'heure par exemple, on fait un relèvement radiogoniométrique sur le poste émetteur. Comme il est sur la route à suivre, si l'avion est, lui aussi, sur cette route, le relèvement radiogoniométrique obtenu doit être égal à l'angle de route. S'il en diffère, c'est que l'avion est dérivé par le vent d'un côté ou de l'autre de sa route. On corrige le cap de la quantité dont on a dérivé, et ainsi de suite jusqu'à ce qu'on se trouve exactement sur l'alignement à suivre. On fait ainsi une navigation correcte. Des recoupements sur les postes latéraux peuvent permettre à l'avion de connaître sa position à différents moments sur l'alignement qu'il suit.

La **troisième méthode** consiste à se diriger sur une station émettrice déterminée, en conservant constamment *à l'extinction* les signaux de cette station. Ici encore, le vent latéral interviendra pour faire dériver l'appareil ; mais, cette fois, il aura pour action de nous faire atteindre la station visée par une courbe (la courbe du chien), plus longue que la ligne droite que nous aurions dû parcourir. On est toutefois certain, par cette méthode, d'arriver au point que l'on se propose d'atteindre.

Choix d'un radiogoniomètre.

Le genre de radiogoniomètre à employer dépend de toutes les considérations qui viennent d'être exposées. Le cadre fixe a été un peu expérimenté ; il a l'avantage de la facilité d'instal-

lation ; il est peu sensible aux bruits de magnéto et ne comporte aucune erreur de goniométrie. Par contre, on fait, en l'employant, de grosses erreurs de cap. Il peut être monté sur des avions moyens ou petits et ne peut servir qu'à naviguer à l'extinction.

Le cadre mobile, dont l'expérimentation est plus avancée, présente plus de difficultés d'installation. Il est sensible aux bruits de magnéto et présente de fortes erreurs quadrantales ; mais, d'autre part, ceci peut se corriger, comme nous l'avons vu. Il n'est sujet qu'à de faibles erreurs de cap. Il demande, pour être installé, de gros avions, et permet l'application des trois méthodes de navigation : point, alignement, ou extinction.

Enfin le cadre double Bellini-Tosi n'a pas encore été employé à bord des avions. Assez difficile à réaliser, ce type d'appareil serait commode à placer à bord d'un avion moyen. On peut croire qu'il serait peu sensible aux bruits de magnéto. Il permettrait l'emploi des trois méthodes de navigation.

*
* *

VOYAGE PARIS-CUERS-BORDEAUX-PARIS.

Je vais parler à présent du voyage Paris-Cuers-Bordeaux-Paris, que j'ai eu l'occasion de faire pendant le mois d'août 1923.

But du voyage. — Ce voyage a été entrepris dans le but de vérifier qu'avec un cadre mobile à bord d'un avion on pouvait naviguer sans voir le sol, et de déterminer avec quelle précision on pouvait naviguer ainsi. Il est intéressant de remarquer qu'au moment où l'on a entrepris le voyage, on ignorait les erreurs systématiques dues aux effets de cadre et d'antenne de l'avion. Les résultats du voyage sont donc d'autant plus intéressants qu'ils ont été obtenus sans qu'on fasse les corrections correspondant à ces erreurs.

L'installation à bord. — L'avion employé était un Goliath Farman. Le poste radiogoniométrique était organisé pour rece-

voir les trois grands postes français de Ste-Assise, la Doua et Croix-d'Hins. Il comprenait un cadre mobile d'un mètre de côté portant 140 spires de fil de 0^{mmq}, 8 de section. Il était accouplé avec un résonnateur suivant le schéma de la figure 4. Ce schéma est établi pour maintenir la symétrie des appareils, qu'on reçoive sur le circuit primaire, sur le circuit secondaire, ou sur le circuit particulier. Pratiquement, on diminuait beaucoup la gêne due aux magnétos en utilisant le circuit secondaire, et en réglant convenablement le couplage. Le circuit tertiaire n'est pas apparu bien utile. Après le récepteur, étaient placés un amplificateur Jouaust (type Z) et un amplificateur basse fréquence à résonance, à trois étages, de la S.F.R.. La position du cadre par rapport à l'avion était donnée en degrés de 0 à 360, le zéro correspondant à la position du cadre perpendiculaire à l'axe de l'avion, c'est-à-dire à la position de l'émetteur dans l'axe de l'avion.

L'avion était muni d'un compas Vion de grande navigation, soigneusement compensé. Toute une mise au point a dû être faite avant le voyage pour obtenir une bonne réception sur le radiogoniomètre en vol. L'élimination des bruits de magnéto a été particulièrement difficile. Elle a été réalisée en choisissant les positions les plus avantageuses des appareils, en enveloppant d'un double treillis métallique la cabine qui contenait les appareils, enfin en soignant particulièrement l'isolement des connexions et des accumulateurs. Ces études préliminaires n'ont pas demandé moins de deux mois.

L'équipage de l'avion comprenait le pilote, un observateur radio qui faisait les relèvements au radiogoniomètre, et un navigateur qui donnait au pilote les indications de route d'après les relèvements fournis par l'opérateur radio. Le navigateur était placé dans une partie de l'avion telle qu'il n'avait aucun moyen d'apercevoir le terrain survolé. Un quatrième passager, qui ne communiquait ni avec le navigateur ni avec le pilote, avait pour mission de surveiller le terrain, de manière à noter exactement l'itinéraire suivi pour permettre au retour le dépouillement de toutes les mesures. En outre, il devait intervenir au cas où une

erreur de relèvement aurait entraîné l'avion dans une région dangereuse.

Les relevés radiogoniométriques étaient effectués sur une ou plusieurs des trois stations de Sainte-Assise, la Doua et Croix-d'Hins. Par arrangement avec le Service de la T.S.F. des P.T.T., les stations de la Doua et de Croix-d'Hins devaient, lorsqu'elles n'avaient pas de trafic, émettre pendant trois minutes leur indicatif suivi de *vv*... : la station de Lyon tous les quarts d'heure et la station de Croix-d'Hins cinq minutes plus tard.

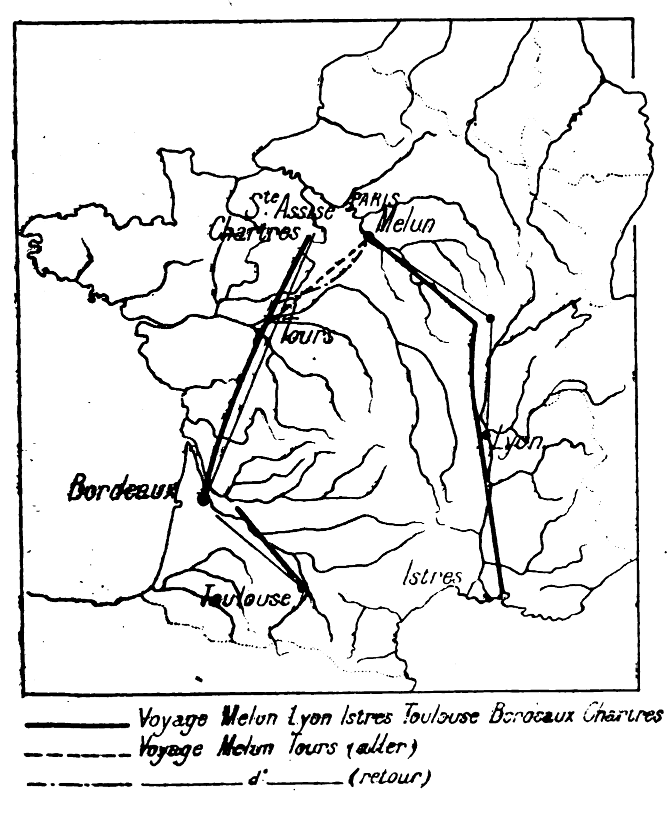


Fig. 9

Le voyage. — Le voyage s'est effectué suivant l'itinéraire reporté sur la carte ci-jointe (fig. 9), où les traits fins représentent l'itinéraire théorique et les gros traits pleins les itinéraires réelle-

ment suivis en naviguant à l'aide de la radiogoniométrie seule. Le voyage a été effectué dans les conditions suivantes :

Départ.	Arrivée.
Paris 16/8 — 6 h. 30	Lyon 16/8 — 10 h. 00
Lyon 16/8 — 16 h. 45	Cuers 16/8 — 19 h. 15
Cuers 18/8 — 6 h. 00	Istres 18/8 — 7 h. 30
Istres 27/8 — 14 h. 52	Toulouse 27/8 — 16 h. 15
Toulouse 28/8 — 8 h. 55	Bordeaux 28/8 — 11 h. 5
Bordeaux 29/8 — 7 h. 00	Chartres 29/8 — 10 h. 00.

Comme on le voit, le voyage a été interrompu à Istres pendant huit jours, par suite d'une légère avarie survenue à l'avion et qui a nécessité l'envoi de pièces de rechange de Paris. Le voyage Istres — Cuers n'a pu être fait par radiogoniométrie, l'appareil n'étant pas bien réglé sur Croix-d'Hins à ce moment. D'Istres à Toulouse, on n'a pas pu non plus utiliser ce procédé, parce que la station Lafayette a eu une avarie qui l'a empêchée de transmettre à l'heure du voyage. Enfin de Bordeaux à Chartres, non seulement on a navigué sur l'alignement voulu, mais encore on a repéré, au cours du voyage, la position de l'avion par des recoupements obtenus sur la Doua et Sainte-Assise. Le navigateur a pu estimer à 5 minutes près le moment de son arrivée à Chartres.

Résultats obtenus. — Le résultat immédiat obtenu est que la navigation dans le brouillard par radiogoniométrie est possible, qu'elle donne une précision suffisante pour amener dans tous les cas un avion à proximité de son terrain. Quand on navigue en se dirigeant sur un poste émetteur, on passe toujours au dessus de lui. Si donc on se dirige vers un terrain où se trouve un émetteur, on est sûr de le retrouver.

Mais d'autres résultats fort intéressants ont été tirés de l'étude détaillée des cent-vingt mesures qui avaient été faites au cours de ce voyage, dans des conditions de temps, de climat, de terrain, d'orientation extrêmement variées.

Un premier examen des erreurs commises au cours de toutes ces mesures mit en évidence les erreurs dues à l'effet de cadre et à l'effet d'antenne de l'avion dont il a été parlé précédemment. On construisit systématiquement la courbe d'erreur ; puis on

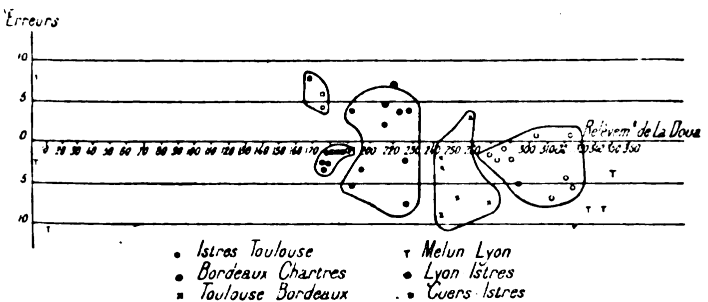


Fig. 10. — Graphique des erreurs commises dans les mesures faites sur la Doua, après correction d'après la courbe d'erreur du « Goliath ». — Erreur en fonction de l'angle que fait avec le nord la direction poste — avion.

corrigea de cette erreur toutes les mesures effectuées. Il restait encore des erreurs, mais elles n'étaient pas très importantes :

8,2 °/₀ de ces erreurs sont nulles,

60 °/₀ sont inférieures à 5°,

24,6 °/₀ sont inférieures à 10°,

7,2 °/₀ sont supérieures à 10°.

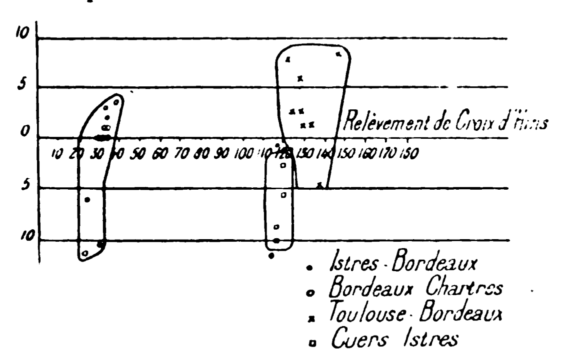


Fig. 11. — Graphique des erreurs commises dans les mesures faites sur Croix-d'Hins, après correction d'après la courbe d'erreur du « Goliath ». — Erreur en fonction de l'angle que fait avec le nord la direction poste — avion.

Pour étudier ces erreurs, on les a groupées par stations émettrices, et on a établi, pour chaque station, un graphique des

erreurs commises chaque fois qu'on s'est relevé sur elle, en fonction de l'azimut de ces relèvements. Une première particularité apparaît quand on examine ces graphiques (fig. 10, 11, 12). Toutes les mesures faites au cours d'un même voyage sont groupées. Les erreurs s'écartent rarement de plus de cinq degrés d'une erreur moyenne, qui change à chaque voyage. Ce résultat semble indiquer que, pour chaque voyage, toutes les erreurs sont la somme d'une erreur systématique et d'une erreur acci-

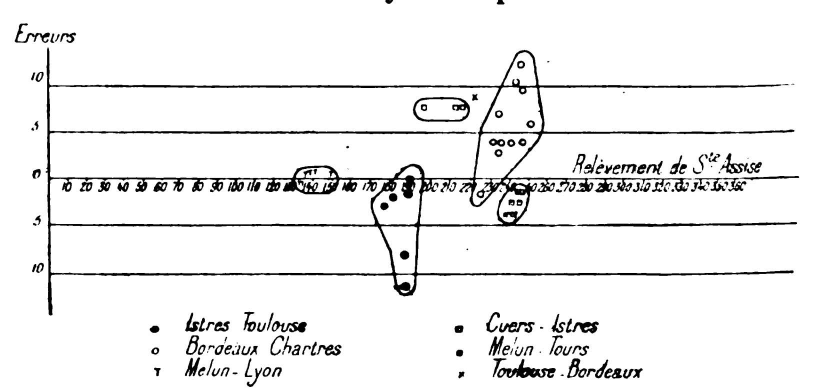


Fig. 12. — Graphique des erreurs commises dans les mesures faites sur Sainte-Assise, après correction d'après la courbe d'erreur du « Goliath ». — Erreur en fonction de l'angle que fait avec le nord la direction poste — avion.

dentelle inférieure à cinq degrés. Quelle est cette erreur systématique? Ne serait-elle pas le résultat de l'effet directif des antennes émettrices? Cette hypothèse est séduisante et les graphiques obtenus sur la Doua et sur Sainte-Assise la vérifient assez bien. Toutefois, l'étendue de l'expérimentation faite jusqu'à ce jour ne permet pas d'affirmation nette sur cette question.

Conclusions. — D'autres voyages ont suivi celui qui vient d'être décrit, et confirmé ses résultats. Il y a donc là un nouveau moyen à la disposition de la navigation aérienne.

Il ne sera pas le seul que lui donne la T.S.F.. Elle en a d'ailleurs besoin d'autres, car le cadre mobile ne peut être mis, comme nous l'avons vu, qu'à bord de gros avions. Le radiogo-

niomètre à bord représente un poids supplémentaire. Comme l'avion a, pour d'autres besoins, un émetteur à bord, des radiogoniomètres à terre lui donneront, sans augmentation de poids, des indications précieuses. Ce procédé est déjà employé, et des radiogoniomètres fonctionnent actuellement aux deux extrémités de la ligne Paris — Londres : à Croydon et au Bourget ; ainsi qu'à Antibes, point de départ de la ligne d'hydravions qui dessert la Corse. Les radio-phares, qu'on peut utiliser quand on a un simple récepteur à bord, auront aussi leur emploi. Mais il n'en reste pas moins vrai qu'un gros avion, effectuant de longs parcours dans des régions qui ne sont pas organisées, utilisera avec profit un radiogoniomètre de bord. Il pourra ainsi, sans installation coûteuse à terre, se repérer sur les postes d'émission qu'il entendra. Mais encore faudra-t-il qu'il les identifie. Or les stations qui font du trafic courant n'envoient actuellement leurs indicatifs qu'au début d'une longue série de télégrammes, et, quand l'avion n'a pas entendu ces indicatifs, il lui arrive souvent d'ignorer quel poste il entend. Il y a là une difficulté qui sera à résoudre quand l'aviation emploiera couramment les radiogoniomètres à bord. Peut-être faudra-t-il qu'à heures fixes un certain nombre de stations transmettent leur indicatif pendant quelques secondes, pour permettre aux navigateurs aériens de les identifier. Mais je ne doute pas que la solution n'intervienne facilement, grâce à la collaboration continue des Service des P.T.T. et de l'Aéronautique.

L'AUTONOMIE FINANCIÈRE DES P.T.T. ET LES MÉTHODES MODERNES DE COMPTABILITÉ.

Par E. JULHIET,
Ingénieur civil des Mines.

(*suite.*) [1]

Messieurs,

Dans une première conférence, je vous ai montré comment la comptabilité moderne a pour but final de dresser un *bilan* et un *compte de profits et pertes.*

Le bilan est un tableau qui donne la valeur de tous les éléments de l'actif et du passif à une date déterminée.

Le compte de profits et pertes est un tableau résumé de toutes les opérations qui ont contribué, tout en modifiant l'actif et le passif, à amener le bénéfice ou la perte.

Ces deux tableaux jouent l'un par l'autre, et le solde du second est le même que le solde du premier. On peut reunir ces deux tableaux en un seul :

Actif.		*Passif.*		
Immobilisations	A	Capital		E
Matières premières, Magasins	B	Dettes envers les tiers		F
Créances	C	Réserves		G
Caisse	D	Profits et pertes :		
		Ventes	H	
		Revient	I	
			H — I	H — I
Total	T	Total		T

Ces chiffres résument la situation actuelle de l'entreprise, celle de chacun de ses éléments et toute sa vie depuis le bilan

---

(1) Conférence faite à l'École professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes le 7 novembre 1924.

précédent ; ils font connaître également, par une des parties du compte de profits et pertes, les prix de revient.

En fournissant tous ces renseignements, la comptabilité remplit son rôle complet.

Or, pour jouer ce rôle dans l'administration des P.T.T., quelles difficultés rencontrait-elle jusqu'ici ? D'abord, le service des P.T.T. n'avait pas d'individualité financière : les recettes entraient dans la masse des produits budgétaires ; les dépenses étaient fixées par une dotation annuelle faisant l'objet de chapitres de crédits. Aucun tableau d'ensemble ne réunissait les recettes et les dépenses en une comparaison exacte. En second lieu, cette comparaison eût été tout à fait stérile sans l'analyse et le classement raisonné des recettes et des dépenses, afin par exemple que ne fussent pas mélangées des dépenses de premier établissement avec des dépenses d'exploitation, des dépenses d'un exercice avec les dépenses d'un autre, etc...

Pour industrialiser financièrement une entreprise d'État, voici les grands principes à poser :

1° Le but de la réforme est l'établissement annuel d'un bilan et d'un compte de profits et pertes.

2° L'entreprise ne donne ni ne reçoit de cadeaux ; elle ne fait pas la charité et ne reçoit point d'aumônes ; elle se fait payer tous les services qu'elle rend, même ceux qu'elle rend à une autre administration de l'État ; pas de services gratuits à d'autres ministères (par exemple le transport gratuit de correspondance officielle) ; inversement elle n'a pas à laisser d'autres ministères se charger de dépenses qui lui incombent en propre (par exemple, les pensions du personnel). Pas de cadeaux non plus d'un exercice à un autre : un exercice doit prendre en compte toutes les recettes et toutes les dépenses qui lui incombent ; un exercice ne doit pas recevoir de cadeaux des exercices qui l'ont précédé, et il doit aussi repasser aux suivants toutes les dépenses qu'il a faites pour ceux-ci.

3° Comme conséquence, si un exercice achète et paye une machine, il ne doit pas supporter entièrement le prix d'achat : ce prix sera inscrit aux immobilisations, et l'exercice imputera

à ses frais d'exploitation seulement la charge correspondant à l'amortissement de cette machine pendant le temps où il se sert d'elle. L'exercice suivant payera ensuite de même l'amortissement. Ainsi le prix d'achat de la machine se trouvera payé peu à peu par tous les exercices qui l'auront utilisée, d'où la distinction fondamentale à établir entre les dépenses d'immobilisation (ou de premier établissement) et les dépenses d'exploitation.

4° Autre distinction, non moins fondamentale, à établir entre les opérations de trésorerie et les comptes d'exploitation : si l'entreprise a une dette à son passif, le payement de cette dette ne modifie en rien le compte de profits et pertes et par conséquent le bénéfice ou la perte : il n'y a que suppression de la dette au passif, et diminution égale de la caisse à l'actif.

5° Le compte de profits et pertes comprendra deux parties :

a) Résultats (recettes moins dépenses) de l'exploitation proprement dite,

b) Résultats (recettes moins dépenses) des comptes étrangers à l'exploitation.

Par exemple, nous voulons connaître le résultat de l'exploitation des postes. Il faudra bien séparer ce qui est recette propre de l'exploitation, comme la vente des timbres, de ce qui est recette étrangère, comme les revenus d'un immeuble qui appartient aux P.T.T. et que ceux-ci, ne l'utilisant pas pour leur service, louent bourgeoisement. Il faudra bien séparer aussi ce qui est dépense propre d'exploitation (salaires et traitement du personnel, fournitures de papier, etc...) de ce qui est dépense étrangère : la charge d'un emprunt est une vraie dépense, mais elle n'est pas une dépense d'*exploitation* ; elle doit entrer dans le compte de profits et pertes, mais non pas dans la partie de ce compte qui s'appelle compte d'*exploitation*.

6° L'ensemble des dépenses d'exploitation est ce qu'on appelle le *prix de revient*. Il comprend trois chapitres :

les salaires et traitements (main-d'œuvre),

les matières,

les frais généraux (y compris les amortissements).

7° Il est indispensable que toute dépense de l'entreprise en main-d'œuvre, en matières, en frais généraux, soit classée suivant sa nature dans les dépenses de premier établissement, ou dans les dépenses d'exploitation, ou dans les dépenses étrangères à l'exploitation. Chaque pièce comptable doit indiquer à première vue à quoi a servi la dépense de matière ou de main-d'œuvre qu'elle représente. Par exemple, le magasinier [1] ne laissera pas sortir un kilogramme de fil de cuivre sans que le bon de sortie n'indique que ce fil va servir à construire telle ligne, ou à entretenir tel appareil. De même, telle journée d'ouvrier sera signalée sur la feuille de salaires comme affectée à tel service de construction ou à tel service d'exploitation. Muni de ces références, les agents comptables centralisateurs n'ont plus aucune difficulté pour passer les écritures en les classant suivant les grands principes énoncés plus haut, et en réunissant toutes celles qui concernent les dépenses de production d'un objet ou d'un service déterminé. Mais bien entendu, il ne faut pas que l'agent qui a établi la pièce se soit trompé. Si l'agent centralisateur reçoit des pièces portant des numéros d'affectation erronés, alors c'est la bouteille à l'encre, ou, suivant le mot d'argot, la comptabilité entre peu à peu dans le mastic, et elle y restera certainement.

Nous venons de passer en revue les grands principes auxquels l'administration des P.T.T. doit se plier si elle veut, suivant le désir du parlement, avoir une organisation comptable moderne.

D'autre part, le parlement a entendu conserver les règles habituelles de son contrôle sur les P.T.T.. Il veut que les P.T.T. aient une comptabilité moderne, mais il veut aussi maintenir les « *prescriptions légales et réglementaires qui régissent l'exécution du budget général* ».

---

(1) En principe, toute matière achetée par l'entreprise doit passer par un magasin, matériellement ou par compte. Cette entrée en magasin ne fait pas jouer le compte Exploitation (ni le compte Construction). Ensuite la matière entre peu à peu dans l'exploitation (ou la construction), et sa valeur sort en même temps du magasin pour s'incorporer au prix de revient de l'exploitation (ou au prix de revient des travaux neufs).

Cette double préoccupation a inspiré les articles 69 à 82 de la loi du 30 juin 1923 et le règlement d'administration publique du 18 décembre 1923, publié au *Journal officiel* du 5 janvier 1924. Sans nous arrêter au détail de ces documents, et en ne prenant que les grandes lignes de la réforme, nous voyons que la comptabilité des P.T.T. doit désormais établir :

un bilan

et un compte de recettes et de dépenses.

Voilà le grand principe posé, et bien posé.

Le bilan. — Le règlement d'administration publique prescrit que ce sera « *un bilan résumant, par services, l'inventaire annuel des valeurs mobilières et immobilières, des créances et des dettes de toute nature de l'administration* ».

Notez d'abord que ce bilan devra être établi *par services*. Il y aura donc trois bilans : celui des postes, celui des télégraphes, celui des téléphones ; donc trois comptabilités séparées. C'est en effet préférable.

Dans chaque service, on aura donc un bilan ; mais quel va être le bilan initial de chaque service, ouvrant la comptabilité? Ce sera le bilan au 1er janvier 1923, Il est établi « d'après l'inventaire général effectué dans tous les services au 31 décembre 1922 ».

Le règlement fixe les règles suivant lesquelles on fera l'inventaire (prix de construction, tenu compte de l'amortissement, prix courant des approvisionnements, etc...).

Nous aurons ainsi un tableau :

Actif.		*Passif.*	
Immobilisation	A	Dettes........................	F
Approvisionnement...	B		
Caisse......	C		
Créances...	D		
Total....	T = A + B + C + D		

Quant au capital initial, quel est-il ? il n'y a pas eu, à proprement parler, de capital initial ; du moins est-il impossible

à reconstituer exactement. On fait donc table rase du passé, et c'est la différence entre T et F qui fixera le capital initial, et qui en même temps bouclera le tableau-bilan initial. Le capital initial sera donc, au 1er janvier 1923, égal à l'excédent de l'actif inventorié sur les dettes inventoriées. C'est très bien, et c'est la seule chose qu'on pouvait faire. Nous avons donc un bilan initial.

Puis chaque année, on établira un bilan de fin d'exercice, qui sera relié au bilan précédent par toutes les modifications (recettes ou dépenses) qui se sont produites dans l'exercice.

Recettes et dépenses. — Les recettes et les dépenses (ce que nous appelons le compte de profits et pertes) font l'objet d'un budget dit « Budget annexe des P. T. T. ».

N'oublions pas que, parmi les dépenses, il y a des dépenses d'exploitation et des dépenses de premier établissement. Aussi le règlement, suivant d'ailleurs fidèlement la loi, prend-il grand soin de prescrire que le budget annexe comprendra deux sections :

1re section : Recettes et dépenses d'exploitation ;

2e section : Dépenses de premier établissement et ressources affectées à ces dépenses.

Dès le début ressort donc, comme dans l'industrie privée, la distinction fondamentale entre les comptes d'exploitation et les comptes de premier établissement. C'est très bien. Malheureusement en entrant dans l'examen des chapitres nous allons avoir quelques déceptions.

Entrons dans le détail des chapitres.

1re Section : Recettes et dépenses d'exploitation. — A. RECETTES. — 1° *Recettes d'exploitation proprement dites, comprenant les produits des postes, des télégraphes, des téléphones, et des articles d'argent.* Aucune observation.

2° *Remboursement d'avances consenties aux fonctionnaires en instance de pension.* — Ceci n'est plus du tout de l'exploitation. Ces avances, au moment où elles ont été consenties, doivent

avoir été inscrites comme créances de l'entreprise sur ses fonctionnaires. Au moment où elles sont remboursées, elles viennent en diminution ou en extinction des créances correspondantes. Ce mouvement d'argent modifie donc deux comptes du bilan : le compte Créances (ou Débiteurs) et le compte Caisse, mais il ne modifie en rien les comptes d'exploitation.

3° *Remboursement de la valeur d'affranchissement des correspondances en franchise et de la valeur des services rendus à divers par l'administration des P. T. et T.* — Excellente formule ; ces remboursements sont bien des recettes d'exploitation.

4° *Produits divers, autres que ceux figurant dans les recettes d'exploitation proprement dites et produits des ventes.* — Ici, attention ! Ces produits ne sont pas des recettes d'exploitation. Donc ne les mélangeons pas avec celles-ci. Elles figureront dans le compte de profits et pertes, mais non dans le compte d'exploitation. Le compte de profits et pertes comprend d'une part les résultats de l'exploitation ; d'autre part les recettes et les dépenses étrangères à l'exploitation.

5° *Prélèvements éventuels sur les fonds d'amortissement.* — Ceci n'est pas une recette d'exploitation ; c'est simplement un déplacement d'argent dans le bilan.

6° *Prélèvements éventuels sur le fonds de réserve.* — Même observation.

7° *Produit du placement au trésor des fonds libres provenant des émissions de bons ou d'obligations.* — Ceci n'a rien à voir avec l'exploitation. C'est une recette purement financière, qu'il faut mettre à part.

8° *Avances éventuelles destinées à couvrir le déficit de l'exploitation.* — Ce chapitre n'est pas autre chose que celui que l'entreprise privée désignerait sous le nom de Pertes. Peu importe son nom.

B. Dépenses. — 1° *Dépenses d'exploitation proprement dites, comprenant les frais de fonctionnement et d'entretien des services postaux, télégraphiques, téléphoniques, et d'articles d'argent.* — Aucune observation.

2° *Frais de renouvellement du matériel comprenant :* a) *les*

versements au fonds d'amortissement. — C'est bien de l'exploitation.

b) *les frais de renouvellement du matériel visé à l'art. 42 du présent décret.* — Il s'agit des lignes électriques aériennes, du mobilier, du petit outillage, et du petit matériel de bureau. Dans une industrie de constructions mécaniques, par exemple, ce chapitre comprendrait le petit outillage d'atelier : limes, marteaux, tarauds, etc..., et il est parfaitement correct de remplacer ces divers outils, en cours d'exercice, par le débit du compte d'exploitation.

c) *les dépenses éventuelles de renouvellement, couvertes par les prélèvements sur les fonds d'amortissement et de réserve dans les conditions prévues au dernier alinéa de l'art. 72 de la loi du 30 juin 1923.* — Cet alinéa prévoit que ces prélèvements seront rattachés au budget de la première ou de la deuxième section, suivant décret du ministre des finances. Le renouvellement de matériel peut en effet être à la charge de l'une ou de l'autre section, suivant la nature du renouvellement.

3° *Remboursement, dans les conditions prévues à l'article 67 du présent décret, du montant des pensions du personnel des P. T. T. à retraiter sous le régime de la loi du 9 juin 1853.* — Ce remboursement est bien une charge du service des P. T. T., et doit être inscrit à son budget. Il doit être inscrit au compte d'exploitation.

4° *Charges du capital comprenant :*

a) *l'intérêt et l'amortissement éventuel du capital à rémunérer,*

b) *l'intérêt et l'amortissement des bons ou obligations et des avances du trésor, visées à l'art. 75 de la loi du 30 juin 1923,*

c) *le remboursement des avances reçues en vertu des lois des 16 juillet 1889, 20 mai 1890, 13 avril 1898, 8 avril 1910 (art. 55),*

d) *l'intérêt et le remboursement des avances ayant servi à couvrir les déficits d'exploitation constatés antérieurement.*

Ces quatre dépenses sont bien en effet des dépenses de l'entreprise ; mais il faut faire bien attention à séparer ce qui est intérêt de ce qui est remboursement.

Je vous ai déjà fait remarquer qu'un remboursement de dette ne change rien au résultat d'un exercice. Il n'est pas plus vrai de dire « Qui paye ses dettes s'enrichit » que « Qui paye ses dettes s'appauvrit ». Qui paye ses dettes diminue à la fois son actif et son passif d'une même somme, sans en être ni plus riche ni plus pauvre.

5° *Versements éventuels au fonds de réserve et au budget général en exécution de l'art. 14 de la loi du 30 juin 1923.* — Ce chapitre représente en réalité le bénéfice de l'exercice ; c'est ce qu'on appelle dans l'industrie privée le solde du compte de profits et pertes. Pour les P.T.T., la loi en fixe d'avance l'emploi. Dans l'industrie privée, dans les sociétés anonymes, c'est l'assemblée générale des actionnaires qui décide l'emploi des bénéfices (réserves, dividendes, tantièmes, report à nouveau).

2e Section : Dépenses de premier établissement et ressources affectées à ces dépenses. — Les dépenses et recettes de cette section n'appellent pas d'observation spéciale.

Messieurs, au cours de cette rapide dissection du budget annexe, nous avons été amenés à noter la réunion, dans certains chapitres, de choses très différentes. Sous la rubrique de « Recettes et dépenses d'exploitation », figurent des recettes et des dépenses qui sont bien de l'exploitation proprement dite, mais d'autres qui ne concernent pas l'exploitation, et d'autres encore qui ne sont pas de vraies recettes ou dépenses, étant seulement des opérations de trésorerie qui n'affectent pas les résultats.

Nous nous heurtons, vous le voyez, à certaines confusions graves, qui rendent très ardu le travail de l'agent comptable centralisateur, s'il veut arriver à dresser des bilans clairs, conformes à la fois aux prescriptions de la loi et aux principes de de saine comptabilité. Notez que ces confusions ne paraissent pas avoir échappé aux auteurs de la loi et du règlement, car la loi prescrit expressément que l'agent centralisateur aura à établir, une fois l'exercice fini, des tableaux qui semblent bien être, eux, entièrement conformes à ce que nous voudrions. Mais on a cru

indispensable de respecter, dans le budget annexe, l'architecture habituelle du budget ; et de là résulteront malheureusemeut, non seulement un gros travail inutile de comptabilité, mais encore de très fâcheuses confusions.

Comment ferons-nous donc ? et faut-il, en nous conformant aux règles posées par le ministre, perdre l'espoir d'arriver à une vraie comptabilité industrielle ? Non, certes ! la loi du 30 juin 1923, suivie du décret du 18 décembre 1923, a réalisé une excellente réforme. Le plan général qu'elle a établi est bien, à proprement parler, un plan de comptabilité industrielle moderne. Les chapitres y sont définis et fixés : c'est plutôt leur groupement, leur classement, qui mènent à confusion.

Or, si le classement des chapitres, tel qu'il est fixé par le décret, n'est pas compatible avec une comptabilité industrielle moderne, par contre aucun obstacle ne s'oppose à l'établissement, à côté des tableaux réglementaires fixés par décrets, d'un véritable bilan industriel avec son compte de profits et pertes : la loi elle-même semble souhaiter l'établissement d'un pareil bilan. Avec l'ancienne comptabilité, c'était pratiquement impossible : autant aurait valu, comme disent les Américains, avoir à « unscramble eggs », à démêler un plat d'œufs brouillés pour reconstituer les œufs initiaux. Avec les nouvelles prescriptions, tous les éléments d'une bonne comptabilité moderne sont là. Ils constitueront, entre les mains de l'agent centralisasateur, comme ces pièces des jeux de construction qu'on donne aux enfants : il sera possible de les utiliser pour construire deux maisons, deux édifices.

Une de ces maisons sera celle dont notre architecte budgétaire officiel, le parlement, a fixé le plan, conforme aux règles de la tradition administrative officielle, et rentrant dans l'architecture générale du budget.

Avec les mêmes matériaux, mais disposés autrement, nous construirons aussi une autre maison, établie suivant les règles de l'industrie privée.

Ma comparaison est mauvaise, Messieurs, et pourquoi ? C'est qu'une grande entreprise n'est pas une chose inanimée.

Comme je vous le disais à notre première conférence, elle est un véritable être vivant, où tout s'agite, où chaque organe a ses mouvements propres, où l'ensemble est animé d'une vie commune intense. La comptabilité doit reproduire non seulement la structure, mais la vie de chaque organe, et non seulement la structure générale, mais la vie même de tout l'organisme. Or les règles qui nous sont fixées par le décret nous commandent bien de dresser un tableau de chaque organe et de sa vie propre, et c'est très bien. Mais, quand nous arrivons à la reconstitution d'ensemble de la vie de l'entreprise, c'est-à-dire à son bilan et à son compte de profits et pertes, alors les règles qui nous sont fixées ne nous suffisent plus. Nous les suivrons d'abord, ces règles, et nous établirons ainsi un tableau général d'ensemble. Tout y sera, tous les organes y figureront ; mais il y manquera la vie. Ce sera une nomenclature, commode assurément, et nécessaire même pour certains travaux parlementaires, mais qui ne donnera pas la vérité de la vie de notre entreprise.

Il nous faudra donc (et ce travail complémentaire ne sera pas difficile) reprendre les éléments de l'entreprise, et, suivant les méthodes de comptabilité moderne, établir les bilans qui reproduisent véritablement la vie industrielle.

Et je suis convaincu, Messieurs, que quand le parlement aura sous les yeux, non seulement les tableaux dont il a fixé le plan, mais encore, à côté, le bilan industriellement établi, issu des tableaux réglementaires, mais disposé comme le fait l'industrie, c'est du bilan industriel qu'il se servira. Car ce bilan fera ressortir, aux yeux du parlement et aux yeux de la nation tout entière, non seulement les résultats donnés par l'administration des P. T. T., mais encore les résultats donnés par chaque service de l'administration et les moyens d'améliorer ces résultats. Il fera ressortir les prix de revient de chaque service, de chaque élément de service, aussi détaillés que l'on voudra. Il fera connaître encore quelque chose de plus : il fera ressortir ce que nous avons appelé l'âme même de l'entreprise, car la comptabilité moderne fait connaître, non pas seulement les éléments matières ou salaires d'une entreprise, mais encore les éléments immaté-

riels de cette entreprise, qui sont en réalité représentés par le cerveau de ses chefs. Il fait ressortir l'intelligence, l'activité de ses chefs, leur ardeur au travail, leur aptitude à commander, leur habileté à relier et coordonner tous les éléments de l'affaire, en un mot toutes leurs qualités de chefs. Et de cette façon, le travail de chacun de vous sera rendu incomparablement plus intéressant, parce que vous pourrez voir véritablement les résultats de vos efforts.

CIRCUIT DE RÉFÉRENCE POUR LES MESURES DE TRANSMISSION TÉLÉPHONIQUE,

par L. J. SIVIAN (1).

Ce sujet sera traité en quatre parties :

A. Fonction d'un circuit de référence pour mesures de transmission ;

B. Conditions qui doivent être remplies par le circuit de référence ;

C. Construction et étalonnage d'un modèle préliminaire du nouveau circuit de référence ;

D. Recherches et développements à effectuer dans l'avenir.

A. Fonction d'un circuit de référence pour mesures de transmission.

La principale fonction d'un réseau téléphonique est de permettre à deux abonnés quelconques d'échanger une conversation. Cela est plus ou moins facile suivant les circuits ou les installations téléphoniques ; et, pour un même circuit ou une même installation, les conditions peuvent changer avec le temps. Par suite, l'ingénieur des téléphones doit posséder une méthode de mesures lui permettant de juger la manière dont les circuits et les installations téléphoniques se comportent, de comparer les différentes installations les unes avec les autres, de manière à assurer, dans toutes les parties du réseau téléphonique, le maintien d'une transmission satisfaisante.

Il existe un grand nombre de facteurs physiques qui

---

(1) Traduction d'un article paru dans *l'Electrical communication* : octobre 1924, p. 114.

affectent la transmission sur un circuit téléphonique. Parmi les plus importants on peut mentionner :

1° la caractéristique de reproduction du circuit considéré en fonction de la fréquence, c'est-à-dire la courbe dont les abscisses sont les différentes fréquences vocales et dont les ordonnées sont les valeurs de l'efficacité pour ces différentes fréquences ; l'efficacité du circuit pour une fréquence quelconque doit être définie comme le rapport de l'amplitude du son produit par le récepteur sur l'oreille à l'extrémité réceptrice, à l'amplitude du son impressionnant le transmetteur à l'extrémité transmettrice (1) ;

2° la distorsion due à ce que certains organes fonctionnent suivant une loi non linéaire ; c'est le cas, en particulier, de lampes à vide à trois électrodes surchargées, et de dispositifs utilisant des substances ferromagnétiques susceptibles d'être saturées ; cette distorsion est particulièrement importante dans les microphones à charbon du type commercial usuel ;

3° les bruits parasites sur le circuit ;

4° la distorsion due à la phase ; étant donné que les différentes fréquences se propagent avec des vitesses différentes et sont d'autre part sujettes à des effets de réflexion, il se produit, notamment sur les longs circuits en câble, des différences de phase entre les ondes composantes, d'où résulte de la distorsion.

Ces facteurs ne sont pas les seuls à considérer, mais ce sont les plus importants et ceux qui interviennent le plus souvent. Si l'on connaissait toutes les conditions physiques d'une communication téléphonique de bout en bout, on pourrait, bien que ce soit une tâche herculéenne, prédire et calculer, *a priori*, le son produit à l'extrémité réceptrice et exprimé comme variation de pression sur le tympan de l'oreille de l'abonné qui écoute, pour un son déterminé appliqué sur le diaphragme du microphone de l'abonné qui parle. Est-ce que la connaissance de

(1) Voy. l'article de H. Fletcher dans le journal *Franklin Institute*, juin 1922 : *The nature of speech and its interpretation.*



ce résultat *a priori* permettrait à l'ingénieur des téléphones de distinguer entre les différentes qualités de transmission qui peuvent être obtenues? La réponse est négative, sauf dans un cas spécial, celui où tous les circuits ont des caractéristiques de reproduction identiques; dans tous les autres cas, on ne pourrait tirer de tels calculs aucune conclusion utile, car on n'aurait pas pris en considération la réaction psychologique de l'abonné qui écoute, laquelle est fonction du volume et de la nature du son qu'il reçoit dans son récepteur.

La question des rapports entre le son produit par le récepteur et l'intelligibilité de la parole par l'abonné qui écoute, a fait l'objet d'études nombreuses et importantes par différents chercheurs dans des domaines très divers (1).

Nous n'aborderons pas ce sujet ici, mais nous rappellerons que la réaction psychologique de l'abonné est le critérium final de la qualité de la transmission. C'est d'après ce critérium qu'il convient de déterminer les différents genres de transmission.

Pour le moment, les mesures de transmission qui ont été les plus souvent effectuées se bornent à comparer les circuits téléphoniques sur la base du volume de son perçu dans le récepteur à l'extrémité réceptrice. Dans la compagnie Bell, on s'est servi, depuis bien des années, pour de telles comparaisons, du circuit de référence représenté schématiquement sur la figure 1.

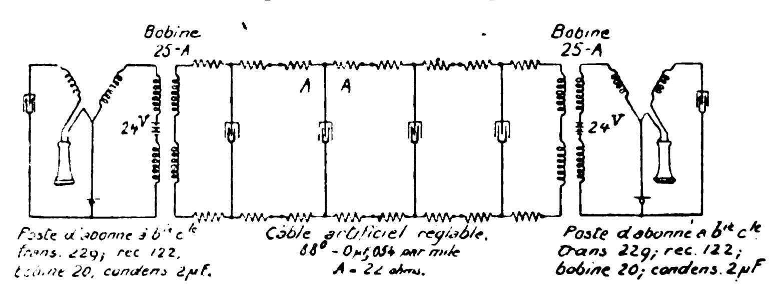


Fig. 1. — Circuit standard de transmission de la compagnie Bell.

Le câble standard réglable que comporte ce circuit est réglé jusqu'à ce que, sur le circuit de référence et sur un circuit

(1) Voy. l'article de Fletcher mentionné ci-dessus.

quelconque C à essayer, on perçoive à l'extrémité réceptrice le même volume de son dans le récepteur. Le nombre de miles de câble standard nécessaire pour atteindre cet équilibre sonore représente ce qu'on appelle l'équivalent E du circuit C à essayer. On suppose que c'est la même source de son qui impressionne successivement les transmetteurs du circuit de référence et du circuit à essayer.

La signification réelle d'un tel équivalent de transmission dépend largement de deux facteurs : 1° la constance du circuit de référence lui-même ; 2° la similitude entre les sons perçus aux extrémités réceptrices du circuit à essayer et du circuit de référence, en supposant que le réglage du volume soit réalisé. Cette similitude importe, au point de vue de la réaction psychologique de l'observateur qui écoute.

Il est exact que de nombreux circuits commerciaux diffèrent les uns des autres, et également diffèrent du circuit de référence au point de vue du volume de son transmis. On peut, par des comparaisons auditives, du genre de celles décrites ci-dessus, déterminer avec exactitude et précision ces différences. L'ingénieur des téléphones peut, par suite, par de telles mesures, s'assurer que le volume de son obtenu à l'extrémité d'un circuit commercial quelconque reste compris entre deux limites acceptables. Mais les sons produits à l'extrémité d'une communication téléphonique peuvent différer non seulement en volume, mais aussi en qualité et notamment être plus ou moins mêlés à des bruits parasites. Considérons, par exemple, deux circuits C_1 et C_2 dont les équivalents de transmission sont e_1 et e_2 avec $e_2 > e_1$; si le le circuit C_1 est affecté de cross-talk ou de bruits induits, alors que le circuit C_2 est normalement silencieux, la transmission sera moins satisfaisante sur C_1 que sur C_2 bien que son équivalent de transmission soit meilleur. De même, des timbres différents, pour un même volume de transmission, peuvent donner des transmissions de qualités très différentes. Lorsque ces divers facteurs (autre que le volume de son transmis) prennent de l'importance, la comparaison auditive devient difficile et imprécise, car le jugement individuel de l'opérateur qui écoute devient un facteur important et très variable.

La situation est dans ce cas comparable à celle que l'on trouve dans d'autres branches de la technique, notamment dans la comparaison photométrique des sources de lumière ayant des distributions spectrales très différentes : par exemple, une bougie de paraffine et une lampe à incandescence à atmosphère gazeuse. Des méthodes photométriques spéciales permettent de résoudre la difficulté en ne considérant que l'éclat lumineux relatif d'une source par rapport à l'autre. Ces méthodes ne permettent pas, au moins directement, de déterminer les mérites de chacune des sources au point de vue de la lecture de pages d'imprimerie ou de la discrimination des couleurs, etc... Or ces différentes utilisations de la lumière correspondent précisément aux résultats pratiques que l'ingénieur des téléphones désire réaliser avec les installations et les circuits téléphoniques et aux effets qu'ils convient de mesurer, lorsque l'on veut déterminer à l'avance la qualité de la transmission sur une communication déterminée.

C'est pourquoi, dans les cinq ou dix dernières années, on s'est efforcé de chercher une autre base de comparaison pour ne pas s'en tenir uniquement aux essais de volume de son transmis, et l'on a, en conséquence, effectué, suivant des techniques différentes dans les diverses administrations téléphoniques, des essais d'un autre genre, dits *essais d'articulation*, ou *essais de netteté*. Le principe des essais de netteté est toujours le même, et consiste à dicter une liste de syllabes constituant des combinaisons de voyelles et de consonnes, caractéristiques du langage utilisé dans l'exploitation courante. Le pourcentage de syllabes correctement enregistrées à l'extrémité réceptrice donne une mesure de la netteté de la communication téléphonique essayée. Les opérateurs ne pouvant être influencés par aucun contexte, et les listes de syllabes transmises ne comportant aucune séquence qui puisse être devinée *a priori*, le résultat des essais de netteté indique, d'une façon assez exacte, la clarté avec laquelle la voix peut être transmise dans la communication téléphonique essayée. Il est certain que de tels essais d'articulation auront dans l'avenir une importance croissante au point de vue de l'amélioration des standards de transmission.

Il semblerait à première vue que l'on pourrait classer les circuits téléphoniques d'après les résultats des essais de netteté, sans se soucier de comparer les différents circuits considérés à un circuit de référence. Malheureusement cela n'est pas possible : les articulations ou nettetés A_1 et A_2, obtenues par deux équipes T_1 et T_2 sur un même circuit C, diffèrent en général l'une de l'autre d'une quantité appréciable, suivant les conditions d'opération de l'équipe et son expérience plus ou moins grande. Il est nécessaire d'affecter à chaque équipe une sorte de « coefficient de pratique expérimentale » si l'on veut rendre comparables les différents résultats d'essais de netteté obtenus par les diverses équipes. Or c'est précisément en faisant travailler toutes les différentes équipes sur un même circuit de référence, choisi de manière à correspondre aussi parfaitement que possible au type des circuits commerciaux généralement essayés, que l'on peut déterminer, pour chacune de ces équipes, le « coefficient de pratique expérimentale ».

Il est possible qu'au point de vue de la téléphonie internationale il faille dans l'avenir effectuer une deuxième correction sur le résultat des essais de netteté, pour tenir compte du langage utilisé pendant ces essais. Pour déterminer la correction afférente à chacun des langages utilisés dans les différents pays du monde, il faudrait effectuer, avec la même équipe, et sur le même circuit de référence, des essais d'articulation avec des listes de voyelles empruntées successivement aux différents langages à considérer. D'autre part, de tels essais comparatifs devraient être faits sur des circuits de référence de différentes natures, correspondant aux divers types de circuits commerciaux utilisés dans la pratique.

Les essais de netteté renseignent notablement sur le fonctionnement d'un circuit téléphonique, mais ils ne disent pas tout. Il est possible de construire deux circuits téléphoniques donnant la même articulation, aux erreurs d'expérience près, et différant cependant considérablement au point de vue de la reproduction des sons. Il est probable que dans l'avenir un critérium plus précis que l'essai d'articulation sera utilisé pour com-

parer la transmission sur les différents circuits ; mais, quel que soit ce critérium, l'utilisation d'un circuit de référence sera toujours nécessaire, et même sera de plus en plus nécessaire, car, plus l'on veut analyser avec finesse les caractéristiques de la transmission de la voix, et plus il est important de déterminer, pour chaque équipe d'opérateurs, le coefficient de pratique expérimentale, qui permet de corriger les résultats de mesures de cette équipe. Par suite, on peut dire, en résumé, que tout procédé de mesures de transmission doit comporter en dernière analyse l'utilisation d'un circuit de référence. Ce circuit de référence devrait avoir une définition physique bien précise. Des méthodes pourront être développées, permettant, au moyen de mesures physiques effectuées sur ce circuit, de calculer et de déterminer *a priori* ce que sera la transmission par une chaîne d'organes téléphoniques déterminés ; mais ce calcul doit être complété par des mesures effectuées à la voix et à l'oreille, qui seules peuvent fournir la base expérimentale nécessaire.

Il existe un circuit de référence qui théoriquement est parfait en ce qu'il ne comporte aucun organe intermédiaire : c'est la transmission de la parole directement par l'air entre l'abonné qui parle et l'abonné qui écoute. Il est défini simplement par une seule constante physique : la distance entre les lèvres de l'opérateur qui parle et l'oreille de l'opérateur qui écoute. Il semblerait logique de comparer les différents circuits téléphoniques à une telle transmission aérienne, dont l'homme a, depuis bien longtemps, une grande expérience ; malheureusement, il y a bien des difficultés à cela : un tel système ne procure aucun moyen de réglage du volume de son reçu ; il exige une salle parfaitement silencieuse ; il est entaché d'une erreur systématique due à ce que l'opérateur doit changer d'emplacement lorsqu'il parle à travers le circuit téléphonique à essayer et lorsqu'il transmet par l'air ; l'acoustique de la pièce affecte considérablement les mesures. Ces objections, qui ne sont pas les seules, suffisent à rendre parfaitement impraticable un système de référence qui est théoriquement le plus simple.

D'ailleurs, les mesures de transmission n'ont pas seulement

pour but de déterminer l'efficacité totale d'une communication téléphonique prise dans son ensemble; l'ingénieur des téléphones a continuellement à déterminer l'effet, au point de vue de la transmission, d'un organe particulier, étant donné qu'une communication peut être réalisée de différentes manières avec diverses combinaisons d'organes semblables ou différents. Pour déterminer ainsi les équivalents de transmission des divers organes téléphoniques, il est absolument nécessaire de disposer d'un circuit de référence comportant des organes étalonnés, notamment un transmetteur étalon, un récepteur étalon, et une ligne étalon, chacun de ces organes ayant une définition physique bien précise.

B. Conditions que doit remplir le circuit de référence.

Un circuit de référence pour mesures de transmission téléphonique doit remplir les quatre conditions suivantes :

Condition I. — Le circuit tout entier, et chacun de ses organes composants, doit pouvoir être défini par des grandeurs physiques susceptibles d'être mesurées ;

Condition II. — Le circuit de référence doit rester constant et ne doit jamais varier avec le temps lorsqu'on l'utilise d'une manière déterminée et dans des conditions atmosphériques déterminées ;

Condition III. — Le circuit de référence doit fonctionner suivant une loi linéaire pour toutes les amplitudes électriques ou acoustiques que l'on peut normalement rencontrer ;

Condition IV. — Le fonctionnement du circuit de référence aux différentes fréquences vocales doit être aussi uniforme que possible.

Les conditions I et II sont évidentes et doivent être remplies par n'importe quel étalon.

Les principales raisons qui légitiment la condition III sont les suivantes :

a) La spécification complète d'un système à fonctionnement non linéaire en fonction de grandeurs physiques mesurables est généralement d'une complexité énorme ;

b) Si le fonctionnement du circuit de référence dépendait, par exemple, de l'amplitude acoustique du son appliqué au transmetteur à l'extrémité transmettrice, il serait nécessaire de mesurer les amplitudes instantanées du son pendant tout le cours de l'expérience, ce qui est une chose extrêmement difficile ;

c) Un circuit de référence doit pouvoir être comparé à un autre circuit de référence dans des conditions relativement simples.

En ce qui concerne la condition IV, on pourrait objecter qu'un circuit de référence doit se prêter à des comparaisons auditives directes avec un des circuits commerciaux généralement utilisés ; or la plupart des circuits actuellement exploités dans les différentes administrations téléphoniques sont loin d'être sans déformation, et, par suite, il semblerait au contraire utile de réaliser, dans le circuit de référence, une distorsion en fonction de la fréquence voisine de celle que l'on rencontre le plus généralement sur les circuits commerciaux.

Mais à cela on peut répondre, et c'est ce qui légitime la condition IV à remplir par le circuit de référence, par les affirmations suivantes : il existe dès maintenant un grand nombre de communications téléphoniques dont le fonctionnement est uniforme à toute fréquence : en particulier, on peut citer à ce point de vue les réseaux de diffusion radiophonique et les haut-parleurs ; de tels réseaux se répandent de plus en plus. D'autre part, la tendance générale des perfectionnements de la technique téléphonique est de se rapprocher de plus en plus des conditions de transmission uniforme à toute fréquence, c'est-à-dire des transmissions sans déformation. D'autre part, les calculs sont bien simplifiés s'ils sont effectués à partir d'un circuit de référence sans déformation. Enfin, un circuit de référence sans distorsion se prête mieux que tout autre à des comparaisons avec la transmission aérienne directe. Il est exact que, dans les essais de volume effectués sur différents types de circuits affectés d'une distorsion en fonction de la fréquence ou d'une distorsion par suite de fonctionnement non linéaire plus ou moins grande, des équipes d'observateurs différentes donnent des résultats divergents, et que, dans certains cas, pour obtenir le résultat exact à deux unités de

transmission près, il est nécessaire d'effectuer une moyenne entre les résultats observés par dix personnes différentes au moins (pour la signification de l'unité de transmission utilisée actuellement dans la compagnie Bell, consulter les articles suivants : W. H. Martin, *Journal de l'A. I. E. E.*, juin 1924; R.V.L. Hartley, *Electrical Communication*, juillet 1924).

La conclusion rationnelle est la suivante : dans les mesures courantes de transmission, il convient d'utiliser plusieurs circuits de référence auxiliaires, présentant respectivement des distorsions semblables aux distorsions des différents types de circuits commerciaux. Ces circuits de référence auxiliaires seraient comparés directement aux circuits commerciaux de même type à essayer. A leur tour, ces différents circuits de référence seraient étalonnés dans un laboratoire spécial de standardisation par rapport au circuit de référence sans déformation pris comme étalon absolu. Les circuits de référence auxiliaires peuvent être constitués d'une manière quelconque, et, en particulier, peuvent contenir des organes tels que les microphones à charbon ou les récepteurs à aimant permanent, susceptibles de fonctionner, suivant une loi non linéaire; par suite, ces circuits auxiliaires ne sont soumis à aucune des conditions I, II et III; mais leur étalonnage par rapport au circuit de référence étalon absolu doit donner lieu à de nombreux essais de comparaison auditive, dont la moyenne seule aura une signification. Pour le moment, les circuits de référence utilisés aux États-Unis ou dans les autres pays ne satisfont pas aux quatre conditions ci-dessus, que ce soit le circuit de la compagnie Bell représenté sur la figure 1 ou le circuit standard de l'office britannique représenté sur la figure 2; le câble étalon utilisé sur l'un et l'autre ne remplit pas la condition IV, et le microphone à charbon possède à la fois de la distorsion provenant d'un fonctionnement non linéaire et de la distorsion en fonction de la fréquence; en outre, le microphone a une efficacité variable suivant le temps et dépendant de toute son histoire antérieure; par conséquent, le microphone à charbon ne remplit aucune des quatre conditions précédentes.

Outre les quatre conditions énumérées ci-dessus, un circuit

de référence considéré comme un étalon absolu doit remplir deux autres conditions accessoires :

1° Aucune distorsion due à la phase ne doit être produite ;

2° Aucun bruit parasite ne doit être engendré.

La condition 1° a été à peu près réalisée du premier coup dans le modèle préliminaire de circuit de référence qui vient d'être construit aux États-Unis. Par contre, la condition 2° n'est pas possible à réaliser complètement : on a beau s'arranger pour

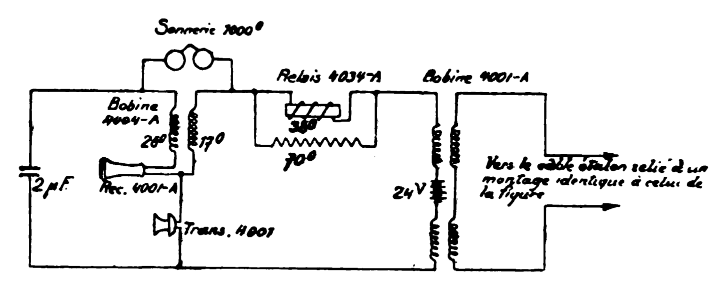


Fig. 2. — Circuit standard de transmission de l'office britannique.

induire aussi peu de bruits parasites que possible, il en existe toujours un peu; par suite, il est nécessaire de prendre des mesures pour que le maximum tolérable de bruits parasites puisse être spécifié au moyen de grandeurs physiques mesurables, conformément à la condition I.

C. Construction et étalonnage d'un modèle préliminaire du nouveau circuit de référence.

Nous donnerons la description d'un modèle préliminaire de circuit de référence pour mesures de transmission qui remplit à peu près les conditions indiquées ci-dessus.

L'appareil, tel qu'il est décrit, a été construit et calibré, et comparé au moyen d'essais à la voix et à l'oreille avec le circuit standard de transmission actuellement utilisé dans la compagnie Bell. Ce modèle préliminaire devait servir à l'établissement d'un nouveau circuit de référence dans sa forme définitive. Lorsque ce modèle définitif sera réalisé, une description plus

détaillée et une documentation plus complète de ses éléments électriques et acoustiques sera fournie.

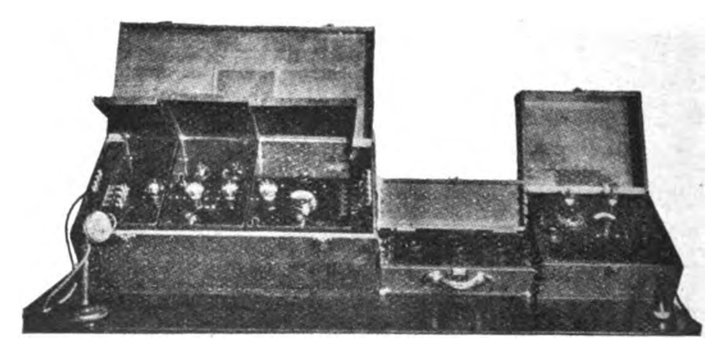
Description du modèle préliminaire. — Le circuit de référence préliminaire actuellement réalisé comprend trois parties : 1° le transmetteur ; 2° la ligne ; 3° le récepteur.

La figure 3 représente photographiquement l'aspect extérieur de ces appareils, à l'exception des batteries d'accumulateurs de filaments et de plaques utilisées pour l'alimentation des tubes à vide.

La figure 4 donne une représentation schématique du montage électrique du circuit de référence.

1° *Le transmetteur.* — Il est constitué par un transmetteur du modèle électrostatique (condensateur) associé à un amplificateur à tubes à vide comportant quatre étages d'amplification. Ce transmetteur est semblable à ceux qui ont été décrits dans les publications antérieures, notamment dans la *Physical Review*, par E. C. Wente en juillet 1917 et en mai 1922, et par I. B. Crandall en juin 1918. Des transmetteurs de ce modèle sont largement utilisés dans la pratique, soit pour la diffusion radiophonique parfaite de la parole et de la musique, soit pour les installations de haut-parleurs destinés aux séances publiques, soit, d'une manière générale, pour toutes les recherches acoustiques de laboratoire. Le condensateur à air qui joue le rôle de microphone est constitué par deux électrodes, dont l'une est un diaphragme très mince, en alliage d'acier, tendu avec force, et dont l'autre est une plaque rigide d'acier parallèle au diaphragme. Ce condensateur est muni d'une boucle de fil placée sur la face antérieure et qui sert à fixer une distance bien déterminée entre les lèvres de l'opérateur qui parle et le diaphragme. Cette boucle de fil ne change pas d'une manière appréciable le fonctionnement acoustique du transmetteur. Lorsque le diaphragme se meut sous l'influence des vibrations sonores qui le frappent, la capacité du condensateur à air varie ; ce condensateur est en série avec une batterie et une résistance élevée. La différence de potentiel alternative engendrée aux bornes de cette résistance reproduit fidèlement les ondes sonores qui frappent le dia-

phragme. Cette différence de potentiel alternative est amplifiée par les quatre étages de lampes à trois électrodes associés au transmetteur. Le couplage d'une lampe à l'autre se fait au moyen de résistances. L'impédance de sortie de l'amplificateur est une résistance pure de 600 ohms avec un angle de phase négligeable. Le dernier étage contient un transformateur de sortie à prises multiples, commandé par un commutateur mobile dont le bras est représenté, sur la photographie de la figure 3, au centre de



Transmetteur. Ligne. Récepteur.

Fig. 3. — Modèle préliminaire du circuit de référence pour mesures de transmission.

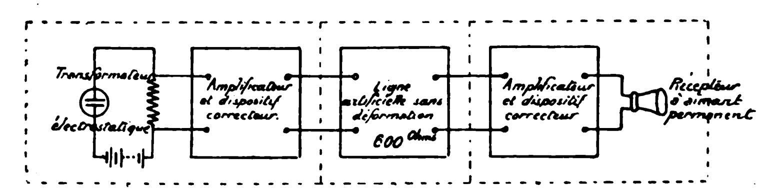


Fig. 4. — Schéma du modèle préliminaire du circuit de référence pour mesures de transmission.

la troisième section de l'amplificateur. Ce transformateur réglable à la sortie du circuit du transmetteur peut être ajusté aux valeurs de 8, 16, 32,..., 16384 ohms. Par suite, il est possible de supprimer toute perte par réflexion à la jonction entre le transmetteur et une résistance comprise entre 6 et 22000 ohms. Cette disposition aurait beaucoup d'intérêt si le transmetteur devait débiter dans des circuits d'utilisation différant de la ligne étalon

de référence ; mais cela importe peu en ce qui concerne le fonctionnement du circuit de référence pour mesures de transmission.

Un potentiomètre placé entre le deuxième et le troisième étage permet de régler le débit du transmetteur, et par conséquent son efficacité apparente, dans un intervalle de 20 unités de transmission américaines (ce qui correspond à une variation de puissance de 100 à 1); cette variation peut se faire par échelons d'une unité de transmission (ce qui correspond à une variation de puissance de $10^{0.01}$ à 1). Le commutateur qui commande ce potentiomètre est représenté sur la partie droite de la deuxième section du transmetteur sur la photographie de la figure 3. En outre, un potentiomètre additionnel permet de réaliser une variation continue de $\pm$ une unité de transmission, ce qui permet de parfaire les réglages pour compenser de petites variations dans les lampes, dans les batteries, etc..., et pour ramener le transmetteur d'une manière absolue à son réglage normal. Le bouton de manœuvre de ce potentiomètre continu est représenté à la gauche du bouton de commande du commutateur du premier potentiomètre.

Des clés, des jacks, et des appareils de mesures sont placés sur la face antérieure de l'amplificateur et permettent de mesurer les tensions et les courants des filaments et des plaques des lampes. Un rhéostat permettant de régler le courant de chauffage des filaments est représenté au bas de la troisième section de l'amplificateur sur la photographie de la figure 3.

Une petite résistance placée dans le circuit du transmetteur électrostatique permet d'introduire une petite tension bien connue, en vue de réaliser certains étalonnages.

Tout l'appareil est monté sur des panneaux de micarta, chaque panneau étant placé à l'intérieur d'une boîte en acier formant écran électrostatique et raccordée au sol. Seul, le condensateur jouant le rôle de microphone est placé en dehors de ces cages de Faraday ; ce transmetteur électrostatique est relié à son amplificateur au moyen d'un cordon flexible protégé lui-même par un écran.

2° *La ligne.* — C'est une ligne artificielle sans déformation, composée par des résistances permettant de réaliser un affaiblissement variable jusqu'à 61 unités de transmission. Le réglage de cette ligne artificielle se fait au moyen de trois cadrans mobiles, dont l'un permet de faire varier par échelons de 10 unités de transmission, l'autre par échelons d'une unité de transmission, et le troisième par échelons de 0,2 unité de transmission. De cette manière, il est possible, dans les essais de comparaison auditive, de réaliser avec précision l'équilibre sonore. Cette ligne artificielle est constituée par des réseaux de résistances non-inductives, et a une impédance de 600 ohms; tous les éléments de cette ligne sont contenus dans une caisse métallique reliée au sol.

3° *Le récepteur.* — C'est un récepteur à aimant permanent, de modèle spécial, associé à un amplificateur à deux étages. Le circuit magnétique est tout à fait semblable à celui du récepteur Bell bien connu, des appareils d'abonnés du type commercial. Mais le récepteur du circuit de référence diffère de ces récepteurs commerciaux à deux points de vue importants :

a) Le diaphragme est serti très solidement entre deux surfaces métalliques ayant des coefficients de dilatation (en fonction de la température) identiques à celui du diaphragme, de sorte que, quand on reste dans les limites ordinaires de variation de la température, on peut affirmer pratiquement que le récepteur reste constant ;

b) Le diaphragme est beaucoup plus amorti que dans le récepteur ordinaire ; un certain nombre de rondelles en papier mince sont effet placées au-dessous du diaphragme; les lames d'air, comprises entre ces différentes rondelles de papier et entre la première de ces bagues et le diaphragme lui-même, produisent un haut degré d'amortissement, qui réduit les effets de résonance propre du diaphragme.

Les deux étages de l'amplificateur associé au récepteur sont couplés au moyen d'une bobine d'inductance dont l'impédance, dans l'intervalle des fréquences vocales, est suffisamment élevée. L'impédance d'entrée de l'amplificateur est d'environ

600 ohms, c'est-à-dire égale à celle de la ligne artificielle. Le gain produit par l'amplificateur peut être réglé de 0 à 20 unités de transmission, par échelons d'une unité, au moyen d'un cadran représenté, sur la photographie de la figure 3, au dessous de la première lampe ; un potentiomètre additionnel, placé à la gauche de ce cadran, permet d'effectuer une variation continue de ± une unité de transmission, afin de rattraper les petites variations dans les lampes, les batteries, etc... Un rhéostat permet de régler le courant des filaments ; et des clés, des jacks, et un appareil de mesure permettent de mesurer les tensions et les courants des plaques et des filaments. Dans le circuit d'entrée, on peut placer une petite résistance qui sert à appliquer une petite tension bien déterminée pour permettre certains étalonnages. Tout l'amplificateur, à l'exception du récepteur proprement dit, est contenu dans une boîte métallique mise à la terre ; le récepteur lui-même est relié à cette boîte par un cordon flexible, également protégé par un écran électrostatique relié au sol.

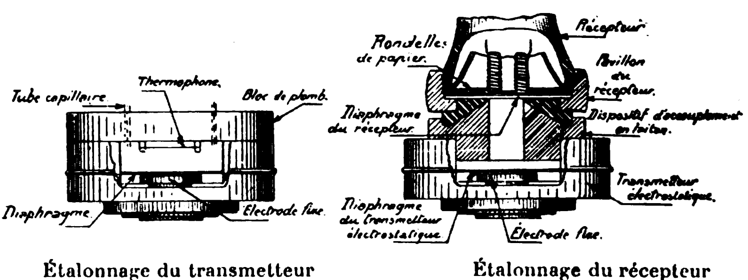
Réalisation des conditions exigées ci-dessus. — On peut affirmer à l'avance que le circuit de référence, dans sa réalisation définitive, sera semblable à ce modèle préliminaire dans ses parties essentielles. Il nous reste à montrer que le circuit de référence que nous venons de décrire remplit bien les quatre conditions énumérées précédemment.

Condition I. — Le circuit de référence, ainsi que ses organes constitutifs, doit pouvoir être défini au moyen de grandeurs physiques susceptibles d'être mesurées. En effet, on spécifie, pour tout l'intervalle des fréquences importantes de la voix, c'est-à-dire de 100 à 5.000 périodes par seconde, le rapport entre le son à la sortie du récepteur et le son à l'entrée du transmetteur.

Le son à l'entrée du transmetteur électrostatique est défini par la pression alternative, exprimée en dynes par centimètre carré, agissant sur le diaphragme. Pour produire sur ce diaphragme effectivement une pression sinusoïdale déterminée, on utilise, conformément aux indications de la figure 5, un *ther-*

mophone, c'est-à-dire un fil résistant échauffé par un courant alternatif sinusoïdal. En ce qui concerne la théorie, la construction, et l'utilisation de ce thermophone, le lecteur peut consulter les publications suivantes : H. D. Arnold et I. B. Crandall, *Physical Review*, juillet 1917 ; E. C. Wente, *Physical Review*, avril 1922. Il est possible, au moyen d'un tel thermophone, d'engendrer une pression sinusoïdale de valeur déterminée, et à peu près uniforme, à $\pm$ 2 % près, pour toutes les fréquences inférieures ou au plus égales à 5.000 périodes par seconde.

Le son à la sortie du récepteur est mesuré conformément aux indications de la figure 5. Les ondes sonores produites par



Étalonnage du transmetteur électrostatique

Étalonnage du récepteur à aimant permanent

Fig. 5.

le diaphragme du récepteur agissent sur le diaphragme d'un transmetteur électrostatique soigneusement calibré, à travers un dispositif d'accouplement en laiton. Le raccord entre le récepteur et le transmetteur électrostatique est assuré par ce dispositif d'accouplement d'une manière étanche ; préalablement, le transmetteur électrostatique avait été étalonné au moyen d'un thermophone ; par suite, on connaît la relation entre le courant électrique produit par le transmetteur et la pression sinusoïdale en dynes par centimètre carré exercée sur son diaphragme. Par conséquent, on peut, de la mesure du courant alternatif engendré par le transmetteur électrostatique accouplé au récepteur, déduire la valeur du son produit par ce récepteur. Il importe de définir avec soin les dimensions et la substance du dispositif d'accouplement, car ces données interviennent dans les mesures. Il est possible, par ce procédé, d'étalonner le récepteur à $\pm$ 2 %

près, dans tout l'intervalle des fréquences inférieures ou égales à 5.000 périodes par seconde.

La spécification et la construction de la ligne artificielle sont un problème électrique bien connu, et l'on sait qu'il est possible d'établir une ligne artificielle satisfaisant aux conditions I, II, et III. Pour que cette ligne artificielle remplisse également la condition IV, il faut prendre des précautions minutieuses pour que les petites capacités parasites, difficiles à éviter, n'affectent pas d'une manière appréciable la constante d'affaiblissement théorique aux fréquences élevées. On a pu réaliser toutefois cette condition pour la ligne artificielle du circuit de référence avec une approximation meilleure même que celle qui avait été atteinte pour les autres organes du circuit.

Nous avons vu que l'étalonnage du transmetteur repose sur la théorie du thermophone, qui permet de calculer les pressions appliquées au diaphragme. C'est en effet la méthode la plus précise, théoriquement et expérimentalement, connue aujourd'hui pour la production de pressions sinusoïdales déterminées et approximativement uniformes dans tout l'intervalle des fréquences vocales. C'est pour cela qu'on l'a employée de préférence aux autres méthodes qui avaient été proposées dans le même but par M. Wien, lord Rayleigh, et A. C. Webster. Ces dernières méthodes comportaient en effet de sérieuses limitations théoriques ou expérimentales si l'on voulait les appliquer à un intervalle de fréquences aussi vaste que l'intervalle de la voix.

Une remarque analogue peut être faite au sujet de la mesure du son perçu à l'extrémité réceptrice, puisque l'étalonnage du récepteur s'effectue au moyen d'un transmetteur électrostatique, lui-même étalonné à l'aide d'un thermophone. En outre, il convient, dans l'étalonnage du récepteur, de prêter une attention particulière aux dispositifs de raccordement en laiton. Le raccord choisi a été établi de manière à produire, sur le diaphragme du transmetteur électrostatique servant à l'étalonnage du récepteur, des pressions comparables, dans l'intervalle des fréquences de 500 à 4.000 périodes par seconde, à celles que le diaphragme du récepteur produirait sur le tympan de l'oreille. On se rap-

proche par suite, dans la mesure, des conditions de l'expérience réelle en ce qui concerne la pression effective ; mais cette pression, dans le dispositif d'étalonnage, notamment aux fréquences élevées, est loin d'être repartie uniformément sur toute la surface du diaphragme, et il y a peut-être là un point à perfectionner à l'avenir.

Condition II. — Le circuit de référence doit rester constant et ne jamais varier avec le temps lorsqu'on l'utilise d'une manière déterminée et dans des conditions atmosphériques déterminées. C'est seulement dans la mesure où nous pouvons mesurer avec exactitude et précision le son à l'entrée et à la sortie du circuit de référence, que nous pouvons nous rendre compte si cette condition est remplie. La constance du transmetteur électrostatique peut être vérifiée à ± 2 °/₀ près ; dans la limite de ces erreurs de mesures, l'expérience a montré qu'un transmetteur, construit et manié avec soin et mis à l'abri de variations excessives dans les conditions atmosphériques, reste pratiquement constant pendant plusieurs années.

La constance du circuit électrique constitué par les deux amplificateurs associés au récepteur et au transmetteur et par la ligne artificielle, peut être définie comme la constance de la tension produite aux bornes d'une résistance remplaçant le récepteur par un volt appliqué aux bornes d'une résistance remplaçant le transmetteur électrostatique. Une mesure électrique de ce genre peut être faite avec une précision moyenne ± 1/2 à 1 °/₀ dans tout l'intervalle des fréquences vocales. Les seules sources de variations importantes, à ce point de vue, sont le vieillissement des lampes et les fluctuations des batteries. Si l'on prend soin de bien choisir les lampes et d'entretenir convenablement les batteries, ces variations peuvent être maintenues inférieures à un minimum dont il est possible de tenir compte au moyen des potentiomètres additionnels qui servent à parfaire le réglage.

La constance du récepteur à aimant permanent dépend également de la précision avec laquelle on peut mesurer le son émis par ce récepteur, précision qui est d'environ de ± 2 °/₀.

On a fait des essais très nombreux pour déterminer les effets de la température et de l'humidité. Nous avons vu que le diaphragme du récepteur était amorti avec du papier et serti dans du fer; on a constaté que des variations de température de 0 à 40° C et des variations d'humidité de 40 à 80 °/₀ n'affectent pas le fonctionnement du récepteur aux conditions normales (15° C-25° C et 50 °/₀-60 °/₀ d'humidité). Aucune variation due au vieillissement de l'aimant permanent n'a été observée. On a utilisé un récepteur à aimant permanent, de préférence à un récepteur électromagnétique, à cause de l'expérience considérable acquise sur les aimants, aussi bien dans la construction des appareils téléphoniques que dans la construction des galvanomètres et des ampèremètres. Le récepteur électrostatique (condensateur parlant), en dépit de sa caractéristique de fréquence très satisfaisante, n'a pas été utilisé, à cause des difficultés d'entretien et de mise en œuvre que comporte cet appareil, et aussi parce qu'il ne peut pas fournir, sans être surchargé, des sons suffisamment intenses.

En résumé, le circuit de référence précédemment décrit, s'il est utilisé dans des conditions convenables aussi bien au point de vue atmosphérique qu'au point de vue du mode opératoire, peut être considéré comme constant dans les limites de précision des mesures acoustiques, c'est-à-dire à ± 2 °/₀ près, dans l'intervalle des fréquences vocales.

Condition III. — Le circuit de référence doit fonctionner suivant une loi linéaire pour toutes les amplitudes électriques ou acoustiques que l'on peut normalement rencontrer. L'amplitude de la pression sonore à la sortie du récepteur doit être proportionnelle à l'amplitude de la pression à l'entrée du transmetteur.

A ce point de vue, c'est le circuit électrique qui est le point faible ; la tension produite par le transmetteur électrostatique utilisé avec une batterie de 250 volts est sensiblement proportionnelle à la pression sonore appliquée, même pour les pressions d'amplitude maxima produites par la voix.

Le circuit électrique peut fonctionner d'une manière non linéaire par suite de la surcharge des tubes à vide et en par-

ticulier des lampes de l'amplificateur associé au transmetteur. Une telle surcharge ne peut vraisemblablement se produire sur les lampes de l'amplificateur associé au récepteur, étant donné l'affaiblissement considérable introduit par la ligne artificielle (environ 24 unités de transmission). L'expérience a montré que, lorsque l'amplificateur du transmetteur est réglé pour l'amplification normale, on peut admettre que le voltage à la sortie reste proportionnel à la pression sonore appliquée au diaphragme, même pour les pressions d'amplitude maxima. De même, l'expérience a montré que, pour toutes les amplitudes des différents sons de la voix normale, le circuit associé au récepteur avait une caractéristique de fonctionnement linéaire.

En ce qui concerne le récepteur lui-même, on l'a couplé à un transmetteur électrostatique au moyen d'un accouplement en laiton, et l'on a mesuré le débit du transmetteur électrostatique pour toutes les pressions acoustiques que le récepteur doit être capable de produire dans la reproduction de la parole. On n'a pu, dans aucun cas, déceler une fréquence étrangère différente de la fréquence appliquée et ayant une valeur au moins égale à 1 °/₀ de celle de la fréquence appliquée. Par suite, on peut admettre que le récepteur à aimant permanent se rapproche sensiblement des conditions de fonctionnement linéaire.

Condition IV. — Le fonctionnement aux différentes fréquences vocales doit être aussi uniforme que possible.

A ce point de vue, on doit se demander s'il convient de prendre en considération la bouche de l'opérateur qui parle comme source sonore à l'extrémité transmettrice et le tympan de l'oreille de l'opérateur qui écoute comme récepteur à l'extrémité réceptrice. En toute rigueur, ce sont bien ces points extrêmes que l'on devrait considérer, puisque le circuit de référence doit permettre de juger de la capacité d'un système quelconque à transmettre et à reproduire les caractéristiques de la voix. Mais, si l'on partait d'une telle définition, la théorie et la réalisation expérimentale entraîneraient trop loin; il vaut mieux définir l'efficacité totale du circuit de référence à une fréquence déterminée de la manière suivante : c'est le rapport entre la pres-

sion effective produite sur le diaphragme du transmetteur électrostatique accouplé au récepteur à l'extrémité réceptrice, et la pression appliquée au diaphragme du transmetteur électrostatique à l'extrémité transmettrice. Cette définition, plus accessible à l'expérience, est tout de même équivalente à la précédente, puisque le dispositif d'accouplement utilisé à l'extrémité réceptrice produit, sur le diaphragme du transmetteur électrostatique, des pressions à peu près égales à celles qui seraient produites sur le tympan d'un opérateur qui écouterait dans le récepteur.

La ligne artificielle a un fonctionnement constant pour toute fréquence, puisqu'elle est pratiquement sans déformation. Étant donné que l'impédance de sortie du transmetteur et que l'impédance d'entrée du récepteur sont pratiquement des résistances non-inductives, on peut traiter séparément l'efficacité du transmetteur en fonction de la fréquence et l'efficacité du récepteur en fonction de la fréquence. En ce qui concerne le transmetteur, c'est-à-dire l'ensemble du condensateur et de l'amplificateur à quatre étages, l'expérience a montré que le rapport de la tension à la sortie à la pression à l'entrée ne varie pas de plus de $\pm$ 15 °/₀ de sa valeur moyenne dans tout l'intervalle compris entre 100 et 5.000 périodes par seconde. En ce qui concerne le récepteur, c'est-à-dire l'ensemble de l'amplificateur à deux étages et du récepteur à aimant permanent, les variations, en fonction de la fréquence, du rapport entre la pression à la sortie et la tension à l'entrée sont beaucoup plus importantes. La valeur maximum est environ 10 fois plus grande que la valeur minimum dans l'intervalle de fréquences de 100 à 5.000 périodes. Cela est dû principalement au récepteur proprement dit et non pas à l'amplificateur associé. Au moyen de dispositifs correcteurs appropriés, cette variation peut être réduite de manière à ne jamais excéder $\pm$ 30 % d'écart par rapport à la valeur moyenne. Actuellement, on est en train de procéder à des recherches pour rendre l'efficacité du dispositif récepteur aussi constante à toute fréquence que celle des autres organes du circuit de référence.

Réglage normal et essais à la voix et à l'oreille. — Étant

donné un transmetteur et un récepteur étalon, il convient de choisir les valeurs normales d'amplification auxquelles doivent être réglés les amplificateurs à deux et à quatre étages du dispositif récepteur et du dispositif transmetteur, ainsi que la valeur normale de l'affaiblissement de la ligne artificielle intermédiaire. On a jugé opportun de se baser, à ce point de vue, sur les comparaisons de volume de son entre le circuit de référence nouveau et l'ancien circuit standard de transmission représenté sur la figure 1. Il est en effet désirable que le passage de l'ancien circuit standard au nouveau circuit de référence donne lieu à un minimum de modifications des données de transmission utilisées à l'heure actuelle pour l'établissement et l'entretien du réseau téléphonique commercial. Le volume de son transmis par l'ancien circuit standard comportant 24 miles de câble étalon comme ligne fixe représente en moyenne le volume de son d'une communication à grande distance ou d'une communication urbaine : c'est un compromis entre ces divers types de communications commerciales. Par suite, il est commode de régler le nouveau circuit de référence de manière à être équivalent, au point de vue du volume de son transmis, à l'ancien circuit standard, lorsque le circuit de référence à une ligne artificielle égale à 24 unités de transmission, et lorsque le circuit standard a une ligne artificielle égale à 24 miles de câble étalon. Il reste d'autre part à déterminer séparément les amplifications des dispositifs à lampes, récepteurs et transmetteurs, du nouveau circuit de référence. On règle l'amplification du dispositif récepteur de manière que son efficacité soit égale à l'efficacité, à la réception, d'un poste étalon d'abonné de l'ancien circuit standard de transmission, cette égalité concernant le volume de son transmis. L'amplification du circuit du dispositif transmetteur s'en déduit, et par suite toutes les conditions du réglage normal du circuit de référence se trouvent bien définies.

On a procédé à de nombreux essais, à la voix et à l'oreille, pour comparer le circuit de référence nouveau ainsi réglé à l'ancien circuit standard de transmission (fig. 1). Ces essais comparatifs ont surtout pour but d'obtenir les données approximatives

nécessaires pour l'accomplissement du modèle final du circuit de référence, et en particulier pour s'assurer qu'il n'y aura, en aucun point de ce circuit de référence définitif, une surcharge quelconque d'un élément quelconque dans n'importe quelles conditions d'essais possibles.

D. Recherches et développements a effectuer dans l'avenir.

On est en train de construire actuellement le circuit de référence définitif ; il ne différera pas essentiellement du modèle préliminaire décrit ci-dessus ; il satisfera aux quatre conditions énoncées. Un effort particulier a été fait pour améliorer l'uniformité de l'efficacité du dispositif récepteur aux différentes fréquences.

Ce circuit de référence sera considéré comme un étalon primaire absolu ; il sera utilisé le moins possible et conservé dans des conditions atmosphériques bien déterminées. Des étalons secondaires seront établis pour servir dans les centres téléphoniques les plus importants. Ils seront réglés de manière à être identiques à l'étalon primaire absolu.

En outre, on se propose de construire des étalons auxiliaires qui conviendront mieux aux mesures pratiques de transmission effectuées sur les circuits commerciaux. Ces étalons auxiliaires satisferont avec autant de rigueur que possible aux trois premières conditions d'un circuit de référence. Ils comporteront probablement des amplificateurs d'un montage relativement simple, et ils seront étalonnés par rapport aux étalons secondaires au moyen de mesures physiques et au moyen d'essais à la voix et à l'oreille.

Enfin des circuits auxiliaires, comportant notamment des microphones à charbon et semblables à l'ancien circuit standard de transmission de la compagnie Bell (fig. 1) ou au circuit standard de l'office britannique (fig. 2), continueront à être utilisés dans la pratique pendant quelque temps encore ; mais leur entretien et leur réglage seront facilités par des étalonnages au moyen des circuits de référence primaire ou secondaire.

L'EMPLOI DU TÉTRACHLORURE DE CARBONE AUX ÉTATS-UNIS [1].

SOMMAIRE.

I. TYPE D'APPAREILS.

Le produit visé par la présente spécification est destiné aux extincteurs chimiques, manœuvrés à la main, du type renfermant 1/4 de gallon (946 ^{cmc}) de tétrachlorure de carbone.

1. Précautions à prendre. — Les vapeurs qui se dégagent

(1) Spécification type n° 36 A (approuvée le 3 juillet 1922 par le Comité fédéral des spécifications et révisée le 1er juin 1924), relative aux extincteurs au tétrachlorure de carbone à fournir aux départements ministériels des États-Unis.

lors de la décomposition du tétrachlorure de carbone par la chaleur sont très irritantes et délétères. Il faut donc prendre certaines précautions lorsqu'on utilise ce liquide dans des espaces confinés. Le dégagement des vapeurs étant très rapide, on ne peut combattre longtemps un incendie dans ces conditions. Cependant, le tétrachlorure de carbone est le seul liquide mauvais conducteur de l'électricité qui convienne pour combattre les commencements d'incendies dans les installations électriques.

II. Matières et façon.

Aucune particularité.

III. Conditions générales requises.

Le liquide doit permettre l'extinction des incendies causés par les liquides ou des solides inflammables ; il doit être mauvais conducteur de l'électricité ; il doit être composé de tétrachlorure de carbone mélangé à d'autres produits convenables, nécessaires pour obtenir un liquide extincteur répondant aux desiderata suivants lorsqu'on le soumet aux essais spécifiés, d'après les méthodes indiquées ici.

IV. Conditions particulières.

1. **Aspect du liquide.** — Il doit être limpide, homogène et fluide.

2. **Poids spécifique.** — A 15°,5 C, le poids spécifique ne doit pas être inférieur à 1,50.

3. **Essai frigorifique.** — Il se fera à une température qui ne sera pas supérieure à — 50° F (— 45,°5 C).

4. **Distillation.** — Il ne faut pas plus de 2 °/₀ du liquide distillé au-dessous de 60° C ; entre 70 et 80° C, il faut que 90 °/₀ du liquide distillé ; on doit pouvoir distiller au moins 99 °/₀ du liquide au-dessous de 100° C.

5. **Impuretés.** — Le liquide ne doit renfermer aucune trace

de nitrobenzine, d'eau, ou d'alcali, et autres halogènes libres ; il ne doit pas contenir plus de 1 % en poids de bisulfure de carbone. Il ne doit pas attaquer le laiton, le plomb, ni tout autre métal aussi facilement attaquable que ceux-ci.

V. Méthode de vérification et essais.

1. Présentation des échantillons. — Aucun échantillon ne doit être joint aux soumissions. L'acheteur et le vendeur sont d'accord pour admettre que, parmi un lot de mille extincteurs garnis, un seul, prélevé au hasard, ne contenant pas plus d'un gallon de tétrachlorure (1 gallon = $3^l,785$) et cacheté doit être considéré comme représentant tout le lot et envoyé au laboratoire pour être vérifié. Quand, pour une cause ou une autre, cet envoi n'a pas été effectué, le vérificateur doit mélanger complètement le contenu d'un extincteur prélevé dans le lot et le verser dans une bouteille de verre (ou une boîte d'étain) propre et sèche ; cette bouteille (ou cette boîte) sera bouchée à l'aide d'un bouchon propre ou d'une capsule fermant hermétiquement ; le récipient sera cacheté, convenablement étiqueté par le vérificateur, qui le transmettra ensuite pour essais au laboratoire.

2. Méthodes à suivre pour les essais. — *a*) *Aspect.* — L'échantillon prélevé, bien secoué dans le récipient initial, et versé aussitôt dans un vase de verre propre et parfaitement sec, ne doit ni se troubler, ni former de dépôt, ni accuser la présence d'une certaine proportion d'eau.

b) *Poids spécifique.* — On doit calculer le poids spécifique, jusqu'à la troisième décimale, en recourant à une méthode appropriée suffisamment précise.

c) *Essai frigorifique.* — Cet essai s'effectue à l'aide d'un tube de 8 × 1 pouces, renfermé dans un tube plus grand dont le diamètre est d'environ 1 pouce 1/4 (1 pouce = 2 ^{cm}, 54). Le tube intérieur est fermé à l'aide d'un bouchon, dans lequel passe un thermomètre pour basses températures dont les divisions descendent au moins jusqu'à — 60° C, ainsi qu'un fil métallique

terminé par une boucle et servant à agiter le liquide. On place dans le tube intérieur 25 centimètres cubes du liquide soumis aux essais ; on enfonce ensuite lentement les deux tubes dans une bouteille Dewar renfermant le réfrigérant. On brasse vigoureusement le liquide et l'on fait de fréquentes lectures au fur et à mesure qu'il se refroidit. La température la plus basse atteinte avant congélation est prise comme résultat de l'essai ; elle ne doit jamais être supérieure à — 60° C ; c'est pourquoi il est bon de se servir d'air liquide. Toutefois, on obtient un excellent réfrigérant en mélangeant du bioxyde de carbone neigeux avec de la gazoline, pour former un mélange avec la consistance d'une bouillie. On peut se procurer facilement du bioxyde de carbone en neige en présentant un sac de feutre (ou une serviette repliée plusieurs fois sur elle-même) devant la valve qui ferme les tubes de bioxyde de carbone vendus dans le commerce, après avoir incliné le tube jusqu'à ce que le bioxyde puisse s'échapper et ouvert la valve.

d) *Distillation.* — L'installation nécessaire à cette épreuve comprend : une bouteille d'Engler de 100 centimètres cubes, un thermomètre de précision, gradué de 0 à 120° C au moins, un condensateur refroidi à l'eau, et un cylindre de 100 centimètres cubes gradué exactement.

1° On nettoie le tube du condensateur pour le débarrasser de toute trace de liquide pouvant provenir d'un essai antérieur ; pour cela, on peut se servir d'un morceau de toile fixé à une corde ou à un fil de cuivre.

2° On entoure uniformément la boule du thermomètre, de coton à longues fibres très absorbant et ne pesant ni moins de 3, ni plus de 5 milligrammes. A chaque expérience on remplace le revêtement de coton.

3° On verse dans la bouteille d'Engler 100 centimètres cubes du liquide à vérifier, en prenant soin de n'en point laisser tomber dans le tube où se formeront les vapeurs.

4° Le thermomètre, soutenu par un bouchon, doit être maintenu solidement dans la bouteille ; on l'enfonce de manière qu'il soit au milieu du col de la bouteille et que la partie inférieure du

tube capillaire se trouve de niveau avec l'intérieur du bas du tube de dégagement, au point où celui-ci se raccorde avec le col de la bouteille.

5° Celle-ci doit être placée sur un disque d'amiante de 20 centimètres de diamètre, percé, au centre, d'une ouverture de 4 centimètres de diamètre. Bouteille et brûleur doivent être entourés d'un écran, qui empêche la température du col de varier.

6° Le tube de dégagement des vapeurs doit être raccordé au tube du condensatsur à l'aide d'un bouchon. Le premier doit dépasser à l'intérieur de 2 à 5 centimètres.

7° L'installation étant prête, on chauffe graduellement à flamme libre, de façon que la première goutte de condensé tombe du condensateur dans le cylindre de 100 centimètres cubes, pas en moins de 5 ni en plus de 10 minutes. On règle ensuite le chauffage de sorte que la distillation s'effectue à raison de 4 à 5 centimètres cubes par minute, ni plus ni moins. On calcule le volume du produit de la distillation à 60, 70, 80 et 100 degrés centigrades.

e) *Impuretés*. — 1° Eau. On verse, dans une éprouvette 5 centimètres cubes du liquide bien mélangé, et l'on y ajoute aussitôt un petit morceau de sodium *propre*. Il ne doit se dégager aucun gaz à la surface du sodium. On doit également vérifier l'aspect de la solution ; si celle-ci se trouble, c'est qu'elle contient de l'eau (la soude est insoluble dans le tétrachlorure de carbone).

2° Neutralité. — On mélange parfaitement 25 centimètres cubes du liquide à un égal volume d'eau, et on laisse reposer la solution. Lorsqu'ensuite on plonge, dans la couche aqueuse, de petits morceaux de papier de tournesol rouges et bleus, on ne doit constater aucune réaction acide ni alcaline.

3° Halogènes libres. — Aucune coloration ne doit se produire orsqu'on mélange 25 centimètres cubes de tétachlorure de carbone à un égal volume d'une solution d'iodure de potassium à 10 %, renfermant de l'amidon comme indicatif.

4° Nitrobenzène. — La totalité ou une partie de l'échantillon original obtenu par distillation ne doivent pas accuser d'odeur de nitrobenzène.

5° Sulfure de carbone. — Méthode Radcliffe [1]. Verser 25 centimètres cubes de potasse alcoolique de 2 N environ, dans un flacon de dimensions convenables ; boucher imparfaitement le flacon et en faire le poids. Ajouter 1 centimètre cube du liquide, avec une pipette ; reboucher le flacon, et procéder à une nouvelle pesée pour trouver le poids du liquide utilisé. Laisser prendre la température de la chambre pendant 5 minutes, puis ajouter un peu d'acide acétique étendu d'eau et utiliser de la phénolphtaléine comme indicatif. Ajouter de l'eau et laisser refroidir complètement le mélange, puis ajouter un excès de bicarbonate de soude liquide. Enfin titrer le mélange qui a pris un aspect trouble et laiteux, avec une solution iodée à 0,1 N, et calculer le pourcentage de CS^2 en poids (un atome d'iode = une molécule de CS^2).

6° Corrosion. — On ne peut se rendre compte des effets de corrosion qu'après un certain temps ; mais le gouvernement se réserve le droit de refuser les soumissions lorsque le liquide aura été reconnu corrosif à l'usage.

7° Essai de conductibilité. — On montera, en série avec un circuit à 110 volts et deux électrodes formées de deux fils de cuivre longs de 5 centimètres et placés parallèlement l'un à l'autre à une distance de $2^{mm},5$, un voltmètre dont la résistance corresponde sensiblement à 100 ohms par volt accusé sur l'échelle graduée (échelle de 150 volts environ). Lorsqu'on fermera le circuit, l'aiguille ne devra pas se déplacer d'une manière appréciable.

VI. Emballage et poinçonnage.

Aucune particularité.

VII. Renseignements complémentaires.

1. Conditions des achats. — Le tétrachlorure de carbone s'achète au poids ou au volume. Celui-ci doit être ramené à la température normale de 15°,5 C (60° F), étant entendu que la

(1) *Journ. Soc. Chem. Ind.* : 1909, p. 229.

correction est basée sur un coefficient de dilatation de 0,0012 par degré centigrade, ou de 0,00067 par degré Fahrenheit. Un gallon (3^l, 785) de liquide exctincteur correspond à 231 pouces cubiques à 15°,5 C (60° F). Le marché doit comporter une clause indiquant si l'achat se fait au poids ou au volume (exemple : quart de gallon, livre, quintal, etc...).

2. Calcul du poids et du volume. — a) *Poids.* — Un gallon de liquide extincteur à 15°,5 C ne pèse pas moins de 12^l, 49 (1 livre = 453^g, 544). On trouve le poids en livres par gallon en multipliant le poids spécifique à 15,5/15°5 C 60/60° F) par 8,33.

Exemple : si, à 15°,5 C, le poids spécifique est de 1,5832, le poids par gallon sera de 1,5832 × 8,33 = 13,188 livres à ladite température.

b) *Volume.* — Le volume de liquide à payer sera le volume ramené à la température normale de 15°,5 C (60° F). On opère la correction en ajoutant en en retranchant au volume trouvé par jaugeage, suivant que la température ambiante est supérieure ou inférieure à 15°,5 C. L'addition ou la soustraction s'opère en prenant pour base un coefficient de dilatation de 0,0012 par degré centigrade, ou de 0,00067 par degré Fahrenheit.

Exemple : Si la température ambiante est de 75° F et la livraison de 100 quarts de gallon à cette température, 0,00067 × 15 × 100 représentera la quantité de quarts de gallon à *retrancher* de 100 quarts pour obtenir le volume véritable (en quarts de gallon) à la température normale de 60° F. Si la température ambiante est de 10° C, 0,0012 × 5,5 × 100 représentera la quantité de quarts de gallon à *ajouter* aux 100 quarts pour obtenir le volume véritable (en quarts de gallon) à la température normale de 15°,5 C.

VIII. Spécifications générales.

Aucune particularité.

INFORMATIONS

Carte des lignes électriques à très haute tension existant en France le 1er janvier 1925. — Le premier examen de la carte ci-jointe fait ressortir la division du territoire en sept régions distinctes :

Nord. — Grandes centrales thermiques, installées sur le carreau des mines où à leur proximité immédiate (charbons de mauvaise qualité).

Est. — Conjugaison des centrales thermiqnes (mines de Lorraine et charbons de la Sarre et de la Ruhr, gaz de hauts fourneaux du bassin sidérurgique lorrain) et hydrauliques (courant importé de Suisse actuellement, énergie du Rhin prochainement). Grosse consommation d'énergie.

Centre-Est. — Conjugaison de l'énergie hydraulique des Alpes (étiage d'hiver) et du Massif Central (étiage d'été), jonction avec les grosses thermiques de Paris, ainsi qu'avec celles des régions minières et industrielles de Saint-Étienne et du Creusot. Réservoirs projetés dans les Alpes et le Massif Central. Électrification du P.-O.

Sud-Est. — Régularisation de l'énergie saisonnière des Alpes méridionales par des thermiques (lignite à Sainte-Tulle [Basses-Alpes], charbon importé à Lingostière, près Nice), et prochainement par des réservoirs (Tinée, Verdon). Un réseau de 120.000 volts est actuellement à l'étude pour réunir ces différentes sources d'énergie et électrifier le réseau P.-L.-M.

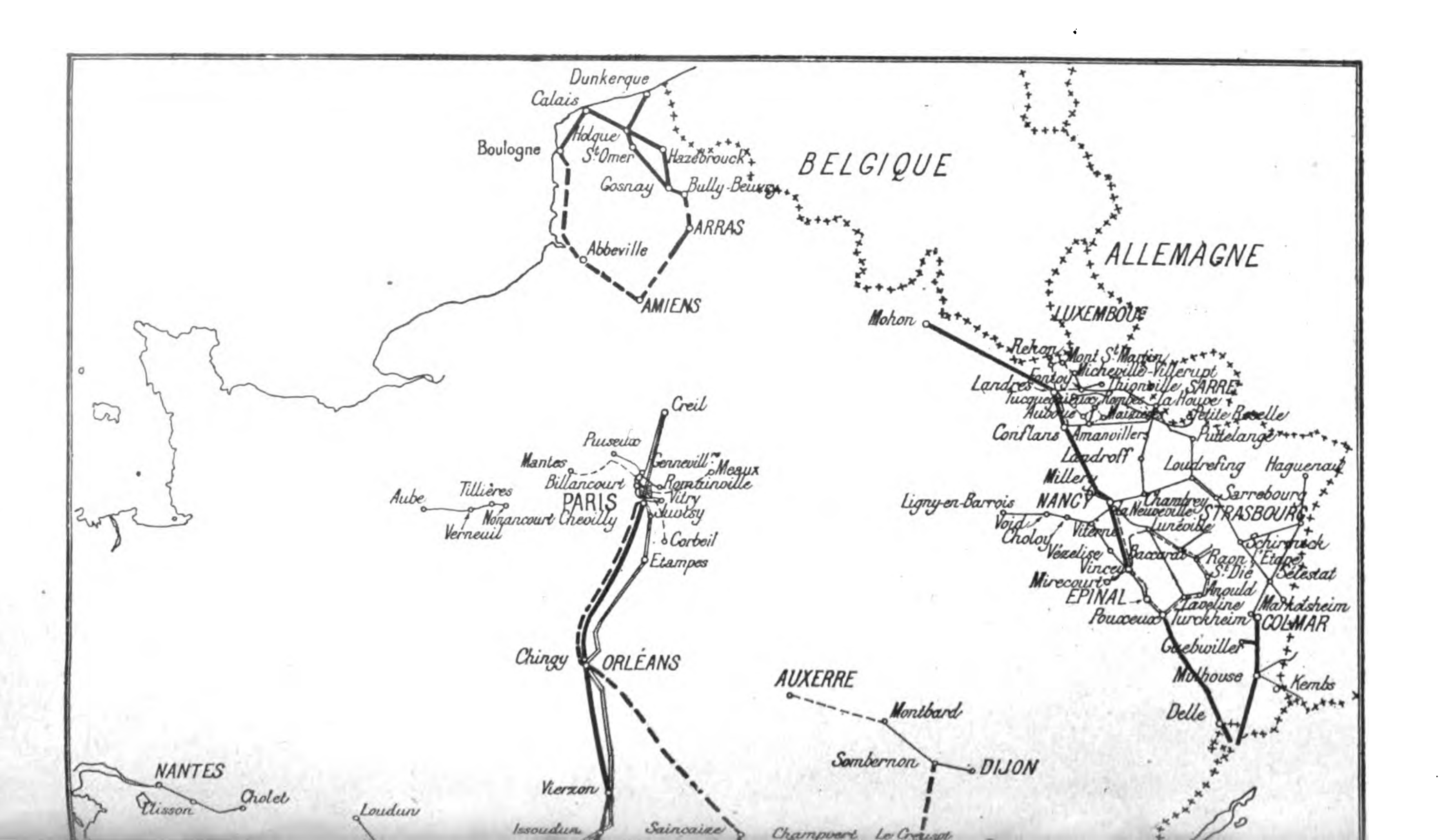
Sud-Ouest. — Conjugaison de l'énergie hydraulique des Pyrénées (étiage d'hiver) et du Massif Central (Tarn) (étiage d'été). Électrification des chemins de fer du Midi.

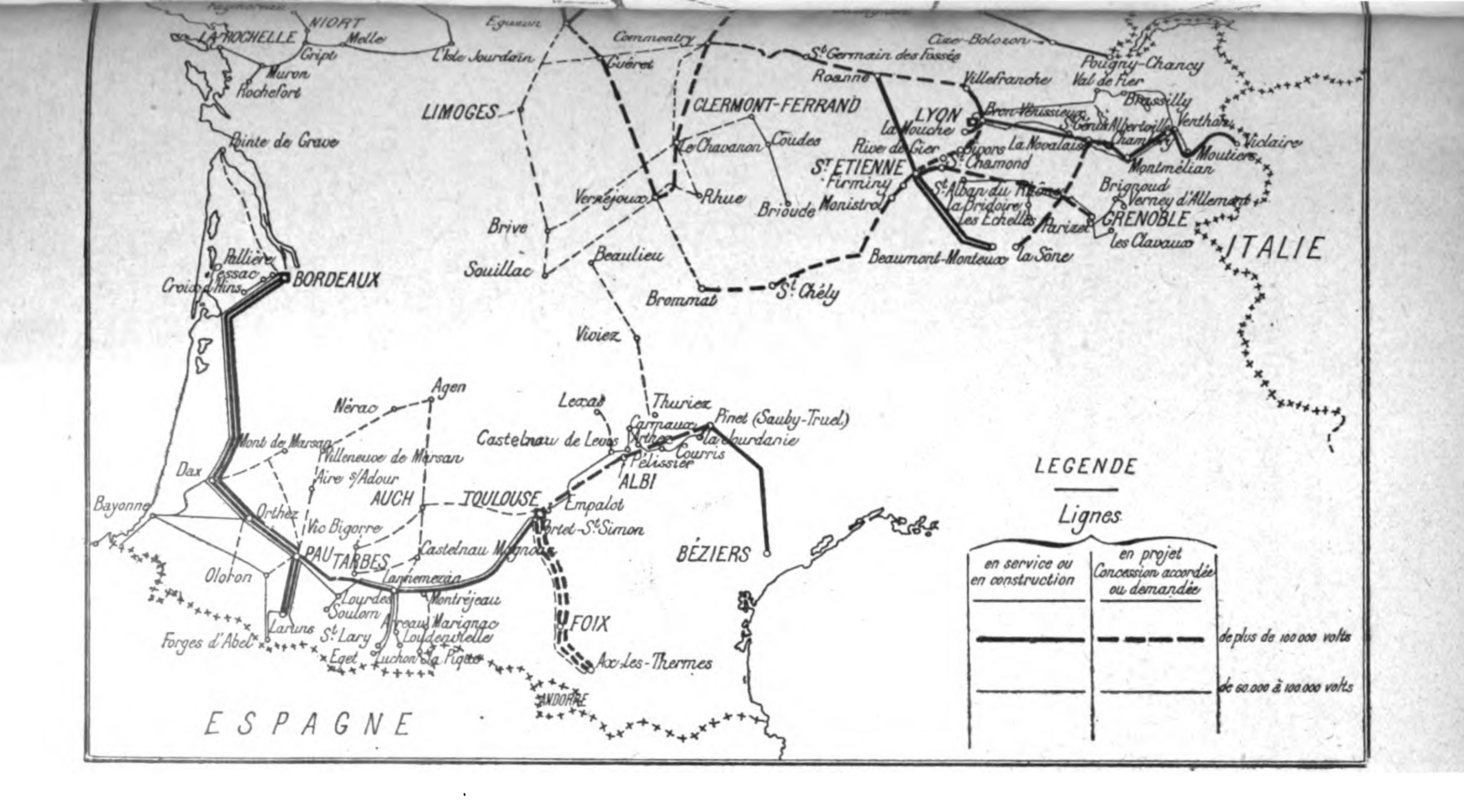
Centre-Ouest. — Régularisation de l'énergie hydraulique du Massif Central (Dordogne et Vienne) avec les thermiques de Faymoreau (mine) et des régions de Bordeaux et Nantes (charbon importé).

Nord-Ouest. — Rien encore à signaler, si ce n'est en Bretagne, où l'interconnexion des usines hydrauliques entre elles et avec les usines de marée est en train de s'amorcer (à 45.000 volts, tension non indiquée sur la carte, pour en éviter la confusion).

Une huitième région, la Corse, n'est mentionnée que pour mémoire, son étendue restreinte permettant d'envisager son électrification future par des lignes à moins de 60.000 volts.

On voit que, sauf pour la région du nord-ouest, le système général de l'électrification du territoire est d'ores et déjà dessiné dans ses grandes lignes.


BELGIQUE
ALLEMAGNE
LUXEMBOURG
Dunkerque
Calais
Boulogne
Hazebrouck
Gosnay
ARRAS
Abbeville
AMIENS
Mohon
Creil
Mantes
Billancourt
PARIS
Meaux
Vitry
Corbeil
Etampes
Aube
Tillières
Verneuil
Nonancourt
Chevilly
Chingy
ORLÉANS
AUXERRE
Montbard
Sombernon
DIJON
NANTES
Clisson
Cholet
Loudun
Vierzon
Issoudun
Saincaize
Champvert
Le Creusot
Landres
Thionville
SARRE
Conflans
Amanviller
Loudrefing
Haguenau
Sarrebourg
STRASBOURG
Ligny-en-Barrois
NANCY
Lunéville
Vézelise
Mirecourt
EPINAL
Pouxeux
Turckheim
COLMAR
Markolsheim
Sélestat
Mulhouse
Delle
Kembs



LA ROCHELLE
NIORT
Melle
Gript
Muron
Rochefort
Pointe de Grave
L'Isle Jourdain
LIMOGES
Commentry
Guéret
St Germain des Fossés
Roanne
Ciez-Bolozon
Pougny-Chancy
Val de Fier
Villefranche
Bron-Vénissieux
Brassilly
LYON
La Mouche
Rive de Gier
CLERMONT-FERRAND
Le Chavanon
Coudes
Venthon
Vidalaire
Moutiers
Montmélian
La Novalaise
St Chamond
ST ETIENNE
Firminy
Monistrol
Brioude
Rhue
Vernéjoux
Brive
Souillac
Beaulieu
Brommat
St Chély
St Alban du Rhône
La Bridoire
Les Echelles
Parizet
Brignoud
Verney d'Allemont
GRENOBLE
Les Clavaux
Beaumont-Monteux
La Sône
ITALIE
Pallière
Pessac
Croix d'Hins
BORDEAUX
Viviez
Agen
Nérac
Lexos
Thuriez
Carmaux
Pinet (Sauby-Truel)
La Jourdanie
Castelnau de Levis
Arthez
Courris
Pélissier
ALBI
Mont de Marsan
Villeneuve de Marsan
Aire s/Adour
AUCH
TOULOUSE
Empalot
Portet-St Simon
Dax
Bayonne
Orthez
Vic Bigorre
PAU
TARBES
Castelnau Magnoac
Lannemezan
BÉZIERS
Oloron
Lourdes
Soulom
Montréjeau
Arreau
Marignac
Loudenvielle
St Lary
Laruns
Forges d'Abel
Eget
Luchon
La Pique
FOIX
Ax-les-Thermes
ANDORRE
ESPAGNE
LEGENDE
Lignes
en service ou en construction
en projet Concession accordée ou demandée
de plus de 100.000 volts
de 60.000 à 100.000 volts

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

Etude quantitative de la régénération produite par couplage inductif (C. B. Jolliffe et Miss J. A. Rodman : *Mémoires scientifiques du Bureau des Standards* : n° 487, 22 avril 1924). — *Résumé.* — Depuis qu'il a été découvert par E. H. Armstrong, le couplage inductif entre le circuit de grille et le circuit de plaque d'un poste de réception à une lampe a été fréquemment employé pour amplifier les signaux à l'arrivée. En se basant uniquement sur la théorie des courants alternatifs, les auteurs montrent que l'amplification procurée par ce mode de régénération peut être attribuée à une diminution de la résistance du circuit accordé. L'amplification produite dans le circuit accordé est donnée par la formule ci-dessous, quelle que soit la valeur du signal émis en radiofréquence :

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{R_1}{(R_1 - a) - \frac{\mu M}{C_1 R_2}},$$

où R_1 = résistance du circuit accordé ;
M = inductance mutuelle qui produit le couplage inductif ;
μ = coefficient d'amplification de tension de la lampe ;
R_2 = résistance totale du circuit de plaque ;
C_1 = capacité dans le circuit accordé aux bornes duquel la lampe est montée en dérivation ;
a = diminution de la résistance due au couplage inductif entre les circuits grille et plaque de la lampe.

On suppose que la tension de grille reste toujours négative.

La formule ci-dessus a été complètement vérifiée par l'expérience. On a mesuré l'intensité du courant dans le circuit accordé, avec et sans régénération, à l'aide d'un voltmètre à lampes qui mesurait la chute de potentiel aux bornes de la capacité C_1 dans

le circuit accordé. La diminution de la résistance *a*, due au couplage inductif, a été mesurée expérimentalement en appliquant la méthode de la variation de la résistance.

1. Introduction. — E. H. Armstrong a décrit le poste récepteur à lampe qui permet d'amplifier les signaux à l'arrivée par couplage des circuits grille et plaque de la lampe (1).

Les principales méthodes qui permettent d'obtenir cette régénération sont les suivantes :

1° couplage par capacité, utilisant habituellement la capacité de la lampe elle-même ;

2° couplage inductif, par couplage de la self du circuit de plaque avec la self du circuit de grille accordé.

Peu de temps après la découverte du phénomène, on émit l'idée que la régénération introduisait effectivement une résistance négative dans un circuit en résonance. Cette hypothèse fut interprétée de différentes façons et parfois mise en doute (2).

Miller (3) a étudié théoriquement et expérimentalement le cas du couplage de capacité, et montré qu'en raison des capacités entre organes d'une lampe à vide, l'impédance d'entrée de la lampe dépend de la nature de la charge dans le circuit de plaque. Si cette charge est inductive, on démontre que l'impédance d'entrée peut être considérée comme une résistance négative, ce qui donne lieu à une diminution apparente de la résistance du circuit accordé. Miller a indiqué les formules qui permettent de calculer la diminution de la résistance (4).

Jusqu'ici on n'a que fort peu de données quantitatives sur la régénération par couplage inductif entre les circuits de sortie et d'entrée d'une lampe. Nous allons montrer expérimentalement que les résultats de la régénération en question peuvent se déduire de la simple théorie des courants alternatifs (5).

---

(1) *Proc. I.R.E.* : 1915, p. 215.
(2) Ballantine, *Radiotelephony for amateurs* : p. 208.
(3) *B. of S. Scientific Papers* : n° 351.
(4) *B. of S. Scientific Papers* : n° 351, formules (21), (22) et (32), p. 379 et 382.
(5) Signalons, d'une part, un mémoire de M. Gutton, *Sur l'amorçage et l'entretien d'oscillations dans un relais amplificateur* (dans *L'Onde élec-*

2. *Théorie.* — Le montage généralement employé est représenté sur la figure 1. L est l'inductance totale dans le circuit accordé ; C, la capacité effective totale ; et R_1, la résistance totale. Pour isoler l'effet à étudier, on suppose que la grille est maintenue à une tension telle, qu'elle n'absorbe aucune énergie et que, dans la formule

$$E_p = \mu\, E_g ,$$

où E_p = tension alternative de plaque,
E_g = tension alternative appliquée à la grille,
μ = coefficient d'amplification de tension, de la lampe,
le coefficient μ reste constant. Cela revient à dire que la lampe fonctionne seulement en amplificatrice, ou encore que le point de fonctionnement reste sur la partie rectiligne de la courbe tension de grille/courant de plaque.

Si l'on considère le circuit L R_1 C, on a :

$$E_g = \frac{I_1}{j\,\omega\, C_1}, \tag{1}$$

où C_1 = capacité du circuit accordé compris entre la grille et le filament de la lampe,
et $\omega = 2\,\pi f$, f étant la fréquence ;

$$E_p = \mu\, E_g ; \tag{2}$$

$$I_2 = \frac{E_p}{R_2} = \frac{\mu\, I_1}{j\,\omega\, C_1\, R_2}, \tag{3}$$

où R_2 = résistance totale du circuit de plaque [1].
En appelant E_m la tension induite par réaction dans le circuit accordé, on a :

$$E_M = j\,\omega\, M\, I_2 = \frac{\mu\, M\, I_1}{C_1\, R_2}. \tag{4}$$

Cette tension est en phase avec le courant qui parcourt le circuit L R_1 C. Donc :

$$I_1\, R_1 - \frac{\mu\, M\, I_1}{C_1\, R_2} + j\, I_1\, X = E, \tag{5}$$

---

trique : 1922, p. 261), qui, deux ans avant la présente étude, traite le même problème en supposant le circuit oscillant dans le circuit de plaque ; et d'autre part, une note de M. le Corbeiller y faisant suite (dans *L'Onde électrique* : 1922, p. 347) [Note du traducteur].

(1) On néglige la réactance du circuit de plaque, car elle est inférieure à 1 °/₀ de la résistance de plaque de la lampe.

où E représente la tension induite par l'antenne (ou par tout autre dispositif) et X la réactance du circuit L R_1 C.

Donc :

$$I_1 = \frac{E}{\sqrt{\left(R_1 - \frac{\mu M}{C_1 R_2}\right)^2 + X^2}} . \qquad (6)$$

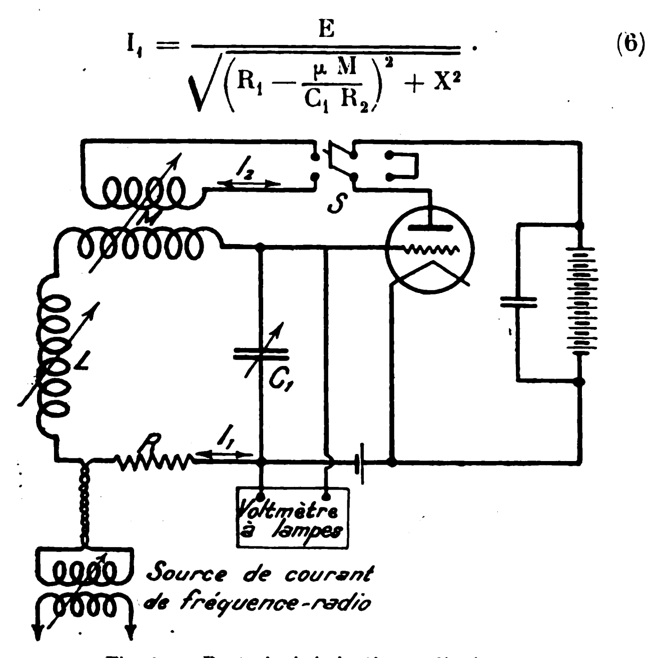


Fig. 1. — Poste à régénération ordinaire.

Si le circuit L R_1 C est accordé sur la fréquence du signal à recevoir E, X = 0 et

$$I_1 = \frac{E}{R_1 - \frac{\mu M}{R_2 C_1}} , \qquad (7)$$

c'est-à-dire que tout se passe comme si la résistance était réduite d'une quantité égale à $\mu M / R_2 C_1$. On arrive au même résultat en partant des formules indiquées par Hazeltine (1).

3. *Méthode.* — Pour vérifier cette formule expérimentalement, on a eu recours à un dispositif analogue à celui que représente la figure 1. La figure 2 représente schématiquement le dispositif réellement utilisé. Le voltmètre à lampes indique directement la

(1) *Proc. I.R.E.* : 1918, p. 79.

tension appliquée à la grille de la lampe ; cette tension est proportionnelle au courant qui parcourt le circuit accordé. Pour étalonner le voltmètre, on mesurait la chute de tension produite par un courant de fréquenee radio, dont on mesurait l'intensité, passant à travers diverses résistances connues. Aucnne perte sensible ne se produisait dans le circuit accordé lorsqu'on montait le voltmètre à lampes en dérivation sur le condensateur. On s'en assura expérimentalement en notant le point pour lequel il se produisait un amorçage d'oscillations, avec le voltmètre connecté et déconnecté. On ne constata aucune différence appréciable. La capacité de la première lampe du voltmètre venait augmenter la capacité du circuit

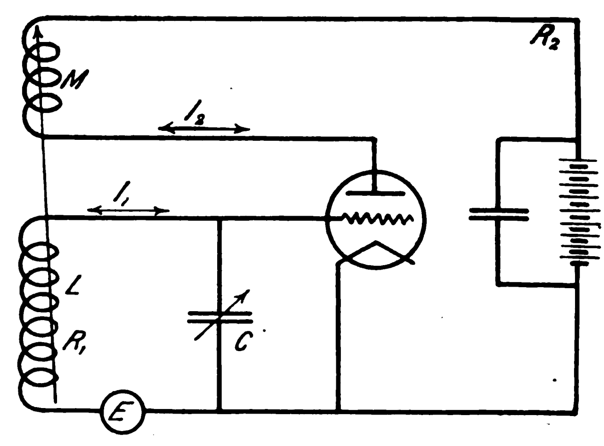


Fig. 2. — Circuit servant aux mesures.

accordé, mais le voltmètre était connecté en permanence, et il n'en résultait aucune erreur. La capacité C_1 entre la grille et le filament de la lampe était maintenue constante. On réalisait le couplage inductif en faisant varier la distance qui séparait une bobine du circuit accordé et une bobine du circuit de plaque ; ces bobines avaient un axe commun et étaient séparées par un écran mis à la terre. Les bords contigus des bobines étaient toujours séparés par un intervalle de 5^{cm} au minimum. L'inductance mutuelle était étalonnée, tous les organes intéressés étant en place. Le signal était appliqué au circuit accordé en couplant une petite partie de l'inductance L à une source de courant de fréquence radio, entourée d'un écran

mis à la terre et placée à une distance considérable des autres appareils.

Un signal était introduit dans le circuit L R_1 C_1 et le circuit accordé sur ce signal. A l'aide de l'interrupteur S, on pouvait retirer du circuit de plaque la bobine de réaction. On mesurait la chute de tension aux bornes du condensateur C_1 au moyen du voltmètre à lampes. La bobine de réaction était intercalée dans le circuit de plaque ; puis, sans la coupler avec le circuit accordé (bobines placées à angle droit et écartées l'une de l'autre), on mesurait de nouveau la chute de tension aux bornes de C_1. On faisait ensuite varier l'induction mutuelle et on mesurait la chute de tension jusqu'au voisinage du point d'amorçage des oscillations; on notait l'inductance mutuelle nécessaire à l'amorçage. Pendant toutes ces opérations le circuit oscillant était maintenu accordé. On refit plusieurs fois les expériences avec des résistances différentes dans le circuit accordé, avec des valeurs de E différentes et à différentes fréquences.

On mesura la résistance répartie du circuit accordé (R_0), en appliquant la méthode de la variation de la résistance.

4. Résultats. — D'après la formule (7), il est évident que, si l'on appelle I_0 l'intensité du courant dans le circuit accordé *sans régénération* et I_1 l'intensité du courant *avec régénération*, on a :

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{R_1}{R_1 - \frac{\mu M}{C_1 R_2}}, \qquad (8)$$

c'est-à-dire que l'amplification du signal doit être indépendante de la tension appliquée. La figure 3 représente la relation entre $\frac{I_1}{I_0}$ et M pour différentes valeurs des tensions appliquées. La distribution des points sur une courbe continue unique montre que $\frac{I_1}{I_0}$ est indépendant de E quelle que soit la valeur de M utilisée, la résistance demeurant constante. La figure 4 représente le même rapport pour différentes valeurs de la résistance. Les courbes sont semblables ; elles sont déplacées parallèlement à l'axe des M d'une quantité qui dépend de la résistance dans le circuit accordé. Les

courbes représentées ont été relevées à la fréquence de 320 kilocycles par seconde. Les courbes relevées à d'autres fréquences sont semblables.

Pour vérifier quantitativement la formule (8), on a représenté les variations de $\frac{I_0}{I_1}$ en fonction de M pour les différentes valeurs de la résistance. Les courbes obtenues en partant des valeurs mesurées devraient être des lignes droites, et, d'après la formule (8) leur équation devrait être

$$\frac{I_0}{I_1} = 1 - \frac{\mu M}{R_1 C_1 R_2}. \qquad (9)$$

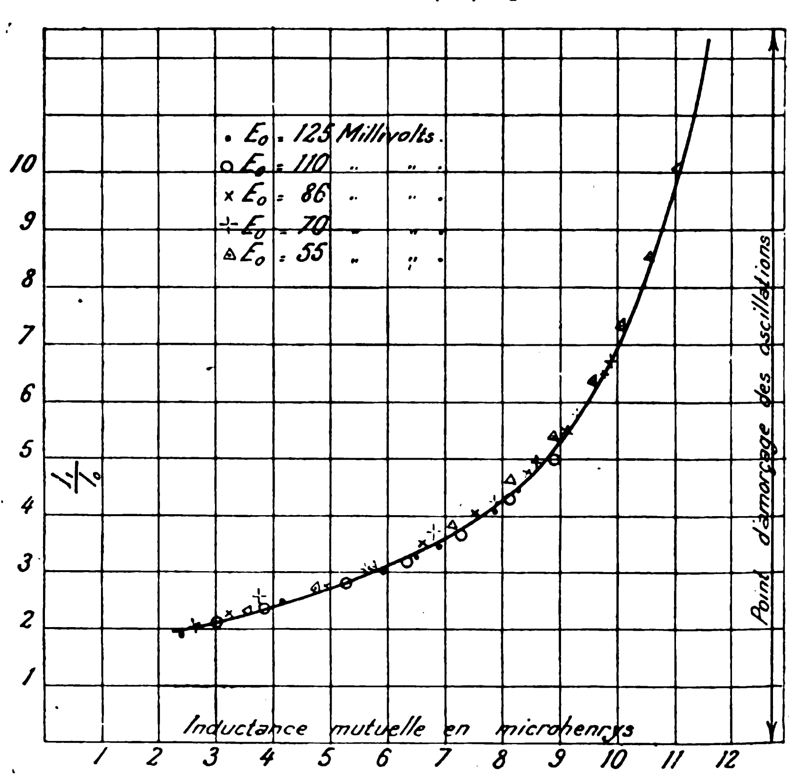


Fig. 3. — Amplification du courant dans le circuit accordé, obtenue par régénération pour différentes tensions appliquées.

La figure 5 représente les résultats obtenus; on voit que les courbes ne coupent pas l'axe des ordonnées au point unité, mais

que, pour différentes valeurs de R, elles se rencontrent au point unité à gauche de l'axe des ordonnées (valeur négative de M). Lorsqu'on a tracé les courbes, on n'a pas tenu compte de l'effet de l'inductance dans le circuit de plaque. Cette inductance doit occasionner une diminution de la résistance dans le circuit accordé ; on peut calculer cette diminution en appliquant les équations de Miller [1].

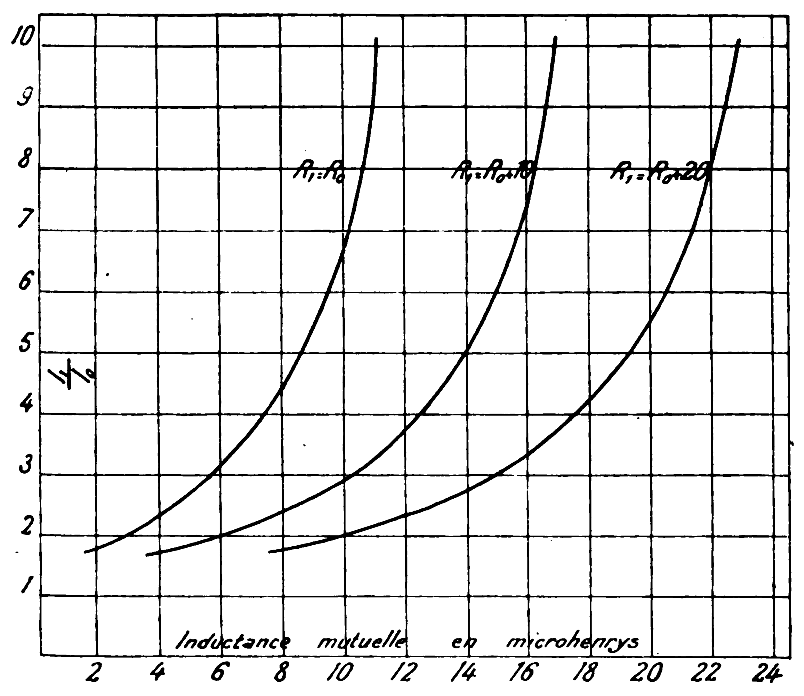


Fig. 4. — Amplification du courant dans le circuit accordé, obtenue par régénération pour différentes valeurs de la résistance.

Mais on a jugé plus simple cette fois de mesurer expérimentalement cette diminution en appliquant la méthode de la variation de la résistance. Les courbes obtenues sont reproduites sur la figure 6. Dans ce cas, les courbes montrent une diminution de la résistance de 10^Ω,9 due à cette seule cause.

Si l'on appelle a la diminution de la résistance dans le circuit

(1) *B. of S. Scientific papers* : n° 351, équations (21), (22), (32), p. 379 et 382.

accordé due au couplage par capacité dans la lampe, l'équation correspondant aux courbes de la figure 5 devrait être :

$$\frac{I_0}{I_1} = \frac{R_1 - a}{R_1} - \frac{\mu M}{R_1 C_1 R_2}. \qquad (10)$$

La rencontre avec l'axe des $\frac{I_0}{I_1}$ devrait être $\frac{R_1 - a}{R_1}$ et la pente $- \frac{\mu}{R_1 C_1 R_2}$. Les valeurs numériques correspondantes tirées des courbes de la figure 5 et les valeurs calculées d'après les constantes du circuit sont reproduites dans le tableau I.

Tableau I.

Nos des courbes	R_1	Intersections	$\frac{R_1 - a}{R_1}$	Pente	$- \frac{\mu M}{R_1 C_1 R_2}$
1.......	R_0	6,25	6,3	— 0,0480	— 0,0488
2.......	$R_0 + 10$	7,2	7,25	— 0,0368	— 0,0364
3.......	$R_0 + 20$	7,75	7,8	— 0,0297	— 0,0282
$C_1 = 480\ \mu\mu F$; $R_2 = 10.400$ ohms ; $R_0 = 29^{\Omega},5$; $a = 10^{\Omega},9$.					

Si, au lieu de I_0, on prend la valeur de I'_0 du courant dans le circuit accordé, le circuit de plaque comprenant la bobine de réaction et l'inductance mutuelle M étant nulle, et que l'on trace les courbes des valeurs de $\frac{I'_0}{I_1}$ par rapport à M, pour les mêmes différentes valeurs de la résistance que dans le cas de la figure 5, l'équation des courbes obtenue devra être :

$$\frac{I'_0}{I_1} = 1 - \frac{\mu M}{(R_1 - a) C_1 R_2} \qquad (11)$$

La figure 7 représente les courbes des valeurs de $\frac{I'_0}{I_1}$ par rapport à M. Les courbes se rencontrent, dans chaque cas, au point unité sur l'axe des $\frac{I'_0}{I_1}$. Le tableau II reproduit les valeurs numériques des pentes réelles et calculées.

Tableau II.

Nos des courbes	Pente	$-\frac{\mu M}{(R_1 - a) C_1 R_2}$
1...............	— 0,0763	— 0,0775
2...............	— 0,0508	— 0,0504
3...............	— 0,0382	— 0,0374

Ces résultats concordent avec la théorie et montrent que, pour calculer l'amplification de courant susceptible d'être produite par couplage inductif avec un circuit accordé, il faut appliquer la formule ci-dessous :

$$\frac{I_1}{I_0} = \frac{R_1}{R_1 - a) - \frac{\mu M}{C_1 R_2}}, \qquad (12)$$

a pouvant être calculée d'après les formules de Miller ou mesurée expérimentalement.

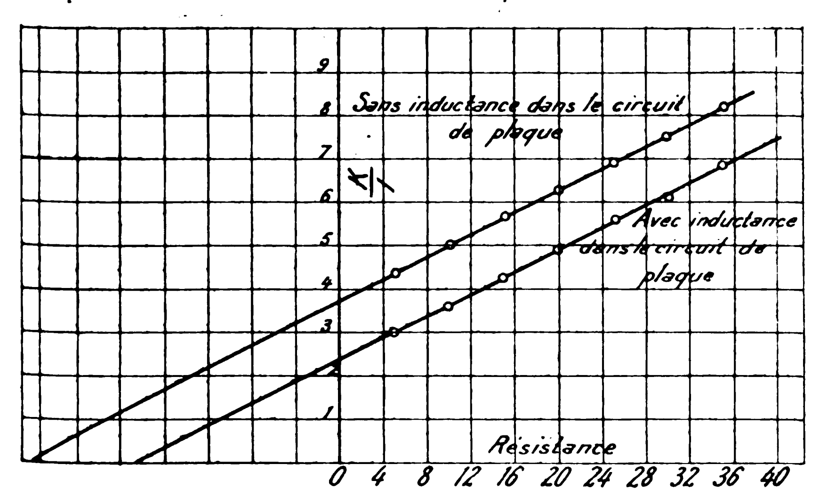


Fig. 5. — Vérification graphique de la formule (9).
(On ne tient pas compte du couplage par capacité.)

Il convient de remarquer que la présente étude se rapporte uniquement à l'effet amplificateur de la lampe et ne tient pas compte de ce qui se passe lorsqu'on a recours à la méthode habituelle de

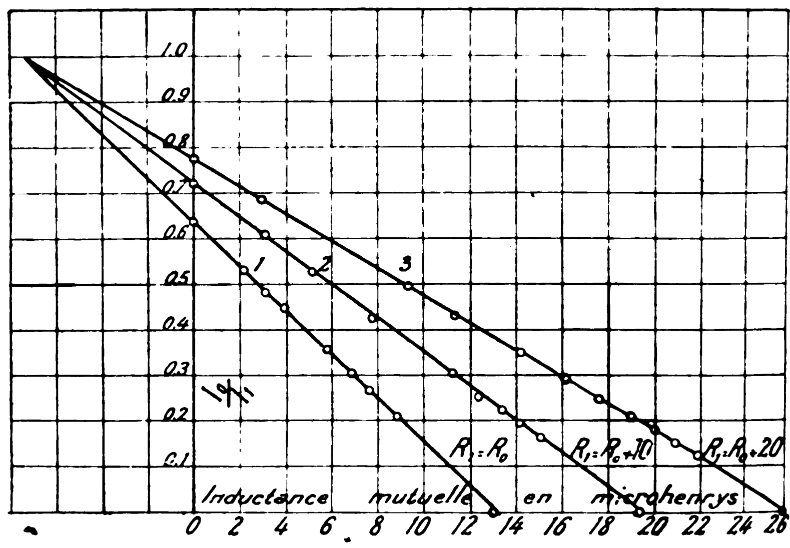


Fig. 6. — Évaluation de la diminution de résistance due au couplage par capacité.

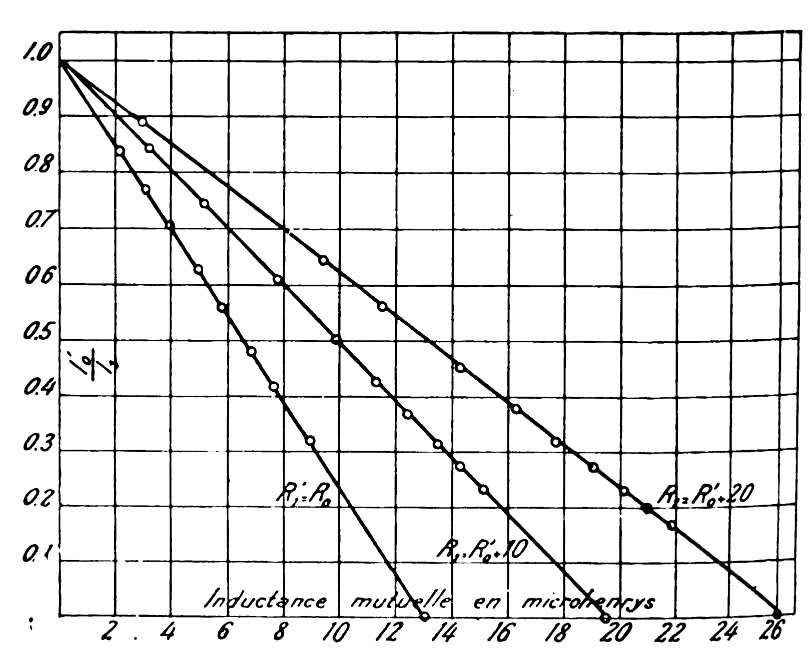


Fig. 7. — Vérification graphique de la formule 11.
(On a tenu compte du couplage par capacité.)

détection (condensateur shunté dans le circuit de grille). Mais on peut en tenir compte en complétant les équations ci-dessus, et calculer l'effet résultant.

5. *Résumé.* — En ce qui concerne la régénération produite par couplage inductif entre le circuit de grille et le circuit de plaque d'une lampe à trois électrodes, on voit qu'il est possible, en partant de la théorie des courants alternatifs, de calculer l'amplification d'un signal appliqué au circuit de grille.

L'effet de la régénération consiste en une diminution apparente de la résistance du circuit accordé. Les formules tirées du calcul sont vérifiées expérimentalement.

Note explicative concernant le numéro d'avril des Annales. — Notre numéro d'avril contient (p. 385) la traduction d'un article paru, sous la signature de M. Bartlett, dans le *Philosophical Magazine* de novembre 1924. Dans cet article, l'auteur s'appuie sur le développement en fraction continue de la tangente hyperbolique de l'arc x, qu'il appelle tanh x ; la notation employée en France est le plus souvent th x. De même la notation d'une fraction continue

$$\cfrac{1}{a_1 + \cfrac{1}{a_2 + \cfrac{1}{a_3 + \cfrac{1}{a_4 + \cdots}}}}$$

devient, dans le journal anglais :

$$\frac{1}{a_1} + \frac{1}{a_2} + \frac{1}{a_3} + \frac{1}{a_4} + \cdots$$

Cette notation, qui n'est pas dans les habitudes françaises, a peut-être dérouté les lecteurs des *Annales*.

Le développement de th x n'étant pas donné dans les livres classiques élémentaires, indiquons brièvement comment on l'obtient. On peut écrire :

$$\text{th}\, x = \frac{\text{sh}\, x}{\text{ch}\, x} = x \cdot \frac{\frac{\text{sh}\, x}{x}}{\text{ch}\, x}.$$

Posons :

$$\text{ch}\, x = P_1 \qquad \text{et}\ \frac{\text{sh}\, x}{x} = P_2.$$

On aura :

$$P_1 = \Sigma \frac{x^{2n}}{2n!} \qquad \text{et}\ P_2 = \Sigma \frac{x^{2n}}{(2n+1)!}.$$

Si alors on pose :

$$P_3 = \Sigma\, x^{2n}.\frac{(2n+2)}{(2n+3)!},$$

$$P_4 = \Sigma\, x^{2n}.\frac{(2n+2)(2n+4)}{(2n+5)!},$$

. . . .

$$P_p = \Sigma\, x^{2n}.\frac{(2n+2)(2n+4)\ldots(2n+2(p-2))}{(2n+2p-3)!},$$

. . . .

on reconnaît aisément que l'on a, identiquement, la formule de récurrence :

$$x^2 P_{p+1} = P_{p-1} - (2p-3) P_p, \qquad \text{pour } p \geqslant 2\,;$$

d'où :

$$\frac{P_1}{P_2} = 1 + \frac{x^2}{\frac{P_2}{P_3}}, \quad \frac{P_2}{P_3} = 3 + \frac{x^2}{\frac{P_3}{P_4}}, \quad \frac{P_3}{P_4} = 5 + \frac{x^2}{\frac{P_4}{P_5}}, \text{ etc}\ldots,$$

ou, dans la notation anglaise, bien commode au point de vue typographique :

$$\text{th}\, x = \frac{x}{1+}\,\frac{x^2}{3+}\,\frac{x^2}{5+}\,\frac{x^2}{7+}\ldots,$$

ce qui est la formule donnée dans le texte.

J.-B. P.

The Pacific Telephone Magazine, vol. XVIII, n° 9 (March 1925) (Williams printing C°, San Francisco, California. U.S.A.). — Nous avons déjà essayé de donner ici la physionomie d'une autre revue analogue, les *Western Electric News*. Le magazine dont nous voulons rendre compte ici appartient également aux publications du système Bell. Les dirigeants de cette grande industrie ont beaucoup plus recours à la presse que les administrations euro-

péennes en général. Evidemment, une revue rapide des articles publiés dans ce numéro de mars risquerait fort d'être une sèche nomenclature et il serait à tous égards préférable de recourir au fascicule original. Si néanmoins nous nous engageons dans cette tâche un peu ingrate, c'est parce que nous voudrions faire ressortir les différences qui existent entre cette revue américaine et les journaux professionnels que l'on édite en France. Il semble, en effet, que nous pourrions améliorer la présentation et le contenu de nos publications, et il est important, pour réaliser ce progrès, de comprendre l'esprit des rédacteurs de San Francisco.

J'ai choisi la revue qui nous vient de la capitale de la Californie, parce que j'ai plaisir à me rappeler cette magnifique contrée. C'est par bateau qu'on aborde à San Francisco après un trajet en chemin de fer de quatre jours et quatre nuits depuis New York jusqu'à Oakland. La ville est assise sur des collines escarpées qu'escaladent à toute vitesse des tramways électriques transformés en funiculaires au moment du besoin; les quais regardent une baie intérieure, et la passe de communication avec le Pacifique est si belle, qu'elle a mérité le nom de Porte d'Or. On se trouve dans la dépression de Californie, au confluent de deux vallées, celles du nord fertile en céréales, celle du sud riche en fruits ; c'est un climat si doux qu'entre les moyennes des températures de janvier et de juillet il n'y a que 5° d'écart; mais il y a du vent. La métropole commerciale du Far West a été en vain ébranlée par le tremblement de terre du 18 avril 1906. On voit de grands buildings, comme celui de l'hôtel San Francis où l'on retrouve sur les murailles les peintures si chaudes qui ont retracé l'histoire du premier missionnaire et qu'on a vues jadis au Salon, à Paris. Les villas sont ornées de boiseries compliquées, enjolivées à la mode espagnole. Les banques deviennent des serres luxuriantes avec leurs gerbes de fleurs. La ville est le centre des voies ferrées et des lignes de navigation ; en sept jours, on va à Honolulu et de là en onze jours on atteint Yokohama. La compagnie Cosmos est en liaison avec Hambourg. De San Francisco part le grand câble qui atterrit à Honolulu et qui est prolongé jusqu'à Manille et à Hong Kong ; l'importance de son trafic est exceptionnelle. Le commerce maritime est floris-

sant (3 millions de tonneaux), avec le Japon, l'Alaska, etc... Auprès de la ville, des raffineries de cannes à sucre. Dans le quartier chinois, on peut admirer les étoffes de l'orient, et si l'on va à la côte du Pacifique, l'imagination vous emporte jusqu'en Asie.

On sait que les divers états des Etats-Unis ont leur patriotisme local. En France, aussi, l'on aimerait favoriser l'originalité propre de nos diverses provinces. Dans le *Pacific telephone magazine*, nous trouvons sur la couverture un paysage qui représente des pruniers en fleurs ; l'impression est faite avec une encre verdâtre, c'est un fort beau camaïeu. Il rappelle que l'industrie du pruneau, importée d'Europe, a pris un essor extraordinaire en Californie, où les collines chargées d'arbres fleuris se présentent comme des vagues qui moutonnent. Dans une autre partie du magazine, nous trouvons les silhouettes caractéristiques des villes de l'ouest ; on reconnaît la forme de leurs buildings se profilant sur le ciel : voilà San Francisco et Portland et Sacramento et Seattle ; et chacune de ces vues sert d'entête à une infinité de petites nouvelles locales, concernant les familles, les sports, les mutations, les guérisons, les nouvelles personnelles de tout genre.

Les photographies qui montrent des fêtes, des réunions, des galas, sont nombreuses et piquantes : leur intérêt local est évident, leur bon effet moral indéniable : une administration a besoin de bonne humeur. On voit aussi des équipes de basket ball, des déguisements ; on peut admirer un portrait qui nous révèle la beauté de miss Constance Weill, téléphoniste, en costume d'Opéra, dans le rôle de Diana.

L'ensemble du magazine est fort bien présenté, le papier est blanc, couché, très apte à l'impression des simili-gravures ; il y a environ 70 pages, le tout fort coquet. Nos revues européennes sont loin d'avoir la même élégance.

Continuons un peu la série des faits divers. Il y a eu en février des inondations dans les Marin, Napa et Sonoma Counties (California) : de nombreuses illustrations nous représentent cette désolation ; cependant les téléphonistes se sont rendues à leur poste, ont travaillé les vêtements mouillés, en attendant qu'on leur procure des chaussures et des étoffes pour se sécher, et ont vaillam-

ment contribué à l'œuvre de dévouement mutuel. Plus loin, je lis les actes de E. E. Johnson, employé du service des dérangements, qui a la vocation du samaritain et se trouve toujours à point nommé présent là où il faut secourir un écrasé, bander une blessure, panser une plaie, etc... Je vois aussi un curieux concours d'amabilité, complaisance pour les collègues, serviabilité pour le public ; ce sont les dames qui ont voté. Certes, voilà de petites histoires bien propres à entretenir le bon esprit dans le personnel. Le caractère américain m'a toujours paru composé essentiellement de bonne volonté.

Passons maintenant aux articles de vulgarisation technique.

Une illustration nous montre Alexander Graham Bell en train de communiquer par téléphone, le 10 mars 1876, avec son assistant Thomas A. Watson ; c'était la première conversation téléphonique. On nous donne à cette occasion les dates mémorables dans l'histoire du développement du système Bell.

Une autre illustration reproduit une grue à planter les poteaux qui fait en quelques minutes, avec trois hommes, le travail d'une équipe. Ce gros outillage s'accorde mal, je crois, avec le sol si divers qu'on rencontre en France.

De nombreuses gravures sont la reproduction de photographies transmises par fils télégraphiques entre New-York, Chicago et San Francisco ; on jurerait que quelques-unes, le portrait de Faraday, par exemple, sont en demi-teintes, tandis que le plus souvent elles sont constituées par des traits parallèles d'épaisseur variable. L'embarcadère des ferry est fait ainsi. Le nom de l'inventeur n'est pas dit. Le système phototélégraphique de l'American Telegraph and Telephone C° est donné dans cet article, comme dû aux perfectionnements des ingénieurs américains ; nous croyons qu'il est conforme, en principe, au système jadis proposé par Korn, l'antique cellule de sélénium étant toutefois remplacée par l'ampoule photoélectrique. L'A.T. and T. emploie la transmission par courant alternatif modulé. On sait que M. Belin a, dès 1912, proposé et démontré le premier que les transmissions téléphotographiques ne pouvaient être faites que par courant alternatif modulé. Nous ne pouvons qu'appeler de nos vœux le moment où, pour cette œuvre scienti-

fique d'un si grand intérêt, la lutte si naturelle des périodes de début entre systèmes concurrents, s'harmonisera, pour le plus grand bien de tous, dans une collaboration cordiale.

Voici maintenant une carte de l'Atlantique, où se trouve la trace de l'éclipse du 24 janvier dernier. La marche suivie par l'ère de totalité y est notée avec les heures. Cette trajectoire coupe en deux points l'arc de grand cercle qui est le plus court chemin de Rocky Point (Long Island) à Londres ; et justement, aux heures de l'intersection effective, l'American Telephone and Telegraph C° a pu constater des variations dans l'intensité des signaux radiotélégraphiques échangés entre ces deux stations.

L'article le plus amusant est sans doute celui qui nous initie aux diverses locutions employées couramment dans les divers pays du monde pour les besoins de l'exploitation téléphonique. A San Francisco, par exemple, les Chinoises qui sont téléphonistes dans le bureau en forme de pagode où se trouve le multiple de la ville chinoise, doivent savoir l'anglais en plus de leur langue maternelle. Dans l'empire du micado, les téléphonistes ont de treize à quatorze ans ; et remarquez qu'un Japonais, à la naissance d'un enfant, compte déjà un, comme si l'année qui vient était acquise. Allô ! devient : Mochi-mochi. A Cuba, dans les campagnes, c'est une veuve qui fait le service avec ses filles ; celles-ci ne sauraient aller travailler hors de la maison : la tradition espagnole s'y oppose. En Turquie, les opérateurs ne sont pas des musulmans, mais des Grecs, des Juifs, des Arméniens : chacun a son jour de repos religieux à un jour différent de la semaine et ne demanderait pas mieux que de les cumuler. Aux Indes, on a des Eurasiennes, de sang mêlé. En Angleterre, la nuit, « la voix qui sourit » est celle d'un employé. A Londres, on a des *telephonists* ; à Chicago, des *operators* ; chez les Soviets, des *camarades*, toute autre appellation expose à la prison. A Berlin, il y a interdiction de porter bijoux, ou d'avoir les cheveux coupés ; au Japon, on porte l'uniforme, la manche est serrée au poignet, et il y a des dortoirs pour faciliter la relève des équipes la nuit. — En Angleterre, on vous demande : « Are you there ? » (Êtes-vous là ?) ; et, naturellement, si vous n'y êtes pas, vous ne répondez pas. Quand l'abonné demandé répond, la téléphoniste en

Amérique dit : « Vous avez votre correspondant » (here's your party). Quand un Américain est « through », c'est qu'il est prêt à s'en aller; quand un Anglais est « through », c'est qu'il peut commencer, puisque la communication est établie d'un bout à l'autre. En Angleterre, en Australie, en Nouvelle-Zélande, « pas libre » se dit « engaged » ; aux États-Unis, « busy » ; mais une ligne « busy », en Angleterre, est simplement une ligne chargée de beaucoup de trafic. En Angleterre, le numéro 4482 s'énonce en énumérant les chiffres comme il suit : 4 deux fois, 8, 2 ; de même 4822, s'énonce 4, 8, 2 deux fois ; mais 4882 se dit 4, 8, 8, 2, comme aux États-Unis, chiffre par chiffre. En Amérique la demoiselle s'annonce « Number, please » (Le numéro, s'il vous plaît) ; en Belgique, elle donne le nom de son bureau ; en France, elle dit : « J'écoute » ; en Allemagne, elle dit : « Ici le bureau » ; en Norvège, elle dit un *oui* interrogatif ; en Suède, elle donne son numéro matricule : 39, par exemple ; il faut savoir ce que ça signifie. Le belge dit : « Causez » ; l'Américain : « Here's your party » ; le Suédois : « Vous pouvez commencer » ; le Norvégien : « Clear ! », c'est-à-dire, je pense : Voie libre. — En Suisse, les phrases réglementaires sont fixées en français et en allemand ; en orient, la lingua franca est la langue commune ; au Caire, on parle français, anglais, grec et italien en plus de l'égyptien. Dans les états baltiques, il faut savoir plusieurs langues ; mais à Bombay, il y a des Français, des Portugais, des Chinois, des Japonais, et des Hindous, des Sikles, des Parsies, des Mahométans ; le téléphoniste parle l'arabe, le chinois, le japonais et toutes les langues européennes. Que de différences ! Et pourtant la femme est partout la même.

Pour compléter notre compte rendu, il suffira maintenant d'indiquer les articles administratifs, concernant la réorganisation des régions téléphoniques de la côte du Pacifique, la composition du personnel directeur, les notices biographiques des plus éminents d'entre les chefs.

Il convient de mettre à part celle qui est consacrée à M. Walter Sherman Gilford, récemment élu président de l'American Telephone and Telegraph C°, personnage sympathique, par ses vertus privées, ses qualités bien américaines, ses travaux personnels. Pendant la

guerre, à Chaumont, il disait des officiers : chacun s'efforce, instinctivement, de découvrir, non ce qui arrête le possible mais le moyen de faire l'impossible ; cette phrase caractérise aussi son esprit. J'ai également plaisir à voir le portrait du respectable M. Thayer, si accueillant pour les Français en mission. — Enfin diverses notes rappellent les formalités nécessaires pour conserver les droits aux fonds de secours en cas de maladie et convient le personnel à prendre des actions de l'entreprise à laquelle ils consacrent leurs efforts.

De pareilles revues montrent toute l'importance que les chefs attachent à l'union morale entre eux et leurs subordonnés.

J.-B. Pomey.

BIBLIOGRAPHIE.

Carte officielle des stations radiotélégraphiques. — Le bureau international de l'Union télégraphique, à Berne, vient de faire paraître un nouveau tirage des feuilles 1 et 2 de la carte officielle des stations radiotélégraphiques.

Théorie mathématique de l'électricité. — Première partie : Introduction aux équations de Maxwell (rédigée par G. van Lerberghe, professeur à l'Ecole des mines de Mons), par Th. DE DONDER, professeur de physique mathématique à l'Université de Bruxelles, membre de l'Académie royale de Belgique. Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1925. — 1 vol. in-8° de 200 pages.

Les lecteurs des *Annales des P.T.T.* savent avec quelle sympathie nous saluons les œuvres qui nous viennent de Belgique ; mais, dans aucun cas, ce sentiment ne saurait être plus justifié qu'en présence du livre remarquable que nous présentons au public aujourd'hui. M. Th. de Donder n'est d'ailleurs pas un inconnu en France, puisqu'il a été invité par l'université de Paris à faire, en mai 1924, des conférences qui se rattachent aux conceptions d'Einstein. Particulièrement bien préparé par des travaux mathématiques antérieurs à s'assimiler les premiers résultats d'Einstein dans la relativité *générale*, il put, dès juillet 1914, publier, dans les *Comptes rendus*, une note sur *Le champ électromagnétique de Maxwell-Lorentz et le champ de gravitation d'Einstein*. La guerre éclata ; la Belgique fut occupée. Isolé du monde scientifique, il poursuivit ses recherches ; mais il lui fut très difficile de publier ses nouveaux résultats ; c'est grâce à M. Lorentz qu'il parvint enfin à faire paraître, le 27 mai 1916, une note renfermant *Les équations différentielles du champ gravifique d'Einstein, créé par un champ électromagnétique de Maxwell-Lorentz*. Les résultats obtenus dans cette note sont fondamentaux. Pendant les années qui suivirent, M. de Donder

compléta ses vues et obtint enfin une synthèse de la gravifique, c'est-à-dire de la théorie de la relativité généralisée ; c'est *La gravifique einsteinienne* de juin 1921. Une nouvelle rédaction de cette synthèse nous est annoncée, qui paraîtra bientôt en trois fascicules dans le *Mémorial des sciences mathématiques,* dirigé par M. Villat de Strasbourg. Ces trois fascicules et une brochure intitulée *La gravifique de Weyl-Eddington-Einstein*, publiée chez Gauthier-Villars (1924), renferment le développement des conférences dont nous venons de rappeler le souvenir.

Le titre seul de l'ouvrage : *Théorie mathématique de l'électricité*, suffit à le recommander à l'attention des ingénieurs des télégraphes, des étudiants, des techniciens : quant à l'auteur, rappelons qu'il obtint en 1899, à l'université de Bruxelles, le titre de docteur ès sciences physiques et mathématiques avec la plus grande distinction. Ayant obtenu en 1901 la bourse de voyages décernée par le gouvernement belge aux sciences mathématiques, il se rendit à Leiden, puis à Paris ; là, il suivit pendant trois semestres les cours de MM. Poincaré, Brillouin, Kœnigs, Appell, Boussinesq et Pellat. Grâce à Henri Poincaré, sa thèse *Etude sur les invariants intégraux* parut, cette même année, dans les *Rendiconti del circolo matematico di Palermo.* Il publia un grand nombre de notes et de mémoires sur le même sujet, tout en s'efforçant d'étendre son champ d'action en analyse et dans la physique mathématique, ce qui lui permit de montrer le lien qui existe entre les recherches de Poincaré et celles de Lévy-Civita, de Volterra, de Sophus Lie, de David Hilbert, etc... Il appliqua les invariants intégraux à la géométrie, à la cinématique, aux théories statistiques, à l'optique, publiant ces travaux en France, en Belgique, en Italie. C'est pourquoi, lorsque le diplôme de docteur honoris causa fut remis, le 27 novembre 1924, à M. de Donder, lors du 60e anniversaire du rétablissement de la faculté de droit à Nancy, M. Georges Darmoy, professeur d'analyse supérieure à la faculté des sciences, put dire, dans son discours, en parlant de la synthèse de la gravifique : « Il paraît hors de doute que cette entreprise avait besoin de lui pour réussir. »

Les recherches de M. de Donder ont porté aussi sur la thermo-

dynamique et la chimie physique. La première partie de ces leçons a paru chez Gauthier-Villars en 1920. Les chimistes théoriciens ont particulièrement fixé leur attention sur la généralisation des théorèmes de van t'Hoff et de Lechatelier.

Il est facile de comprendre, par cet examen historique, que le but de l'auteur qui a écrit la *Théorie mathématique de l'électricité* a été d'en faire le prélude de la gravifique. Mais que le lecteur moyen se rassure : dans ce livre, tout est abordable et se suffit à soi-même. M. de Donder a fait un exposé où tout se tient dans un enchaînement logique et clair, dont le modèle se trouve dans les livres d'Euclide. De plus, cet enseignement a fait ses preuves : la première partie du cours est destinée aux élèves qui ont terminé « leur candidature » en sciences physiques et mathématiques ou leur candidature polytechnique (deux années de préparation) ; la deuxième partie s'adresse aux élèves qui désirent se spécialiser dans la physique mathématique ou dans l'électricité technique mathématique.

Ce qui frappe tout d'abord, quand on entreprend la lecture de cette théorie, c'est le souci de la rigueur mathématique ; mais, comme l'auteur se donne la peine de l'exposer en entrant dans tous les détails nécessaises, il n'impose au lecteur aucune fatigue inutile, et l'on est même étonné de cette apparente facilité avec laquelle on explore, grâce à lui, les parties les plus cachées.

La force électrique H est définie par le gradient du potentiel changé de signe ; mais la résultante électrique R est définie par la résultante de toutes les forces électriques dues respectivement aux diverses charges. Quand a-t-on : R = H ?

Les propriétés des dérivées premières et secondes du potentiel sont établies en utilisant les travaux de H. Poincaré et F. Schmidt. Quand nous débutions, en 1881, nous n'avions que le petit livre, d'ailleurs admirable, de Clausius, sur la fonction potentielle.

L'influence électrique est traitée par la méthode de Lejeune Dirichlet et par la méthode de superposition.

La répartitition dipolaire en volume amène à définir l'induction électrique B et les potentiels vecteurs.

Puis l'auteur résout les difficultés concernant l'énergie électrique localisée dans un champ dû à des volumes polarisés. La polarisation diélectrique prépare l'étude du magnétisme.

Le champ électromagnétique provient des courants; ils ont un potentiel vecteur; la force magnétique en est le rotationnel.

On arrive aux relations fondamentales de Maxwell.

La loi de Laplace devient parallèle à la loi de Coulomb.

On trouve ensuite le théorème d'Ampère, les lois d'équivalence des courants et des aimants. Les charges magnétiques s'introduisent ainsi.

Enfin le livre dernier est consacré à l'état variable.

Cet ouvrage est appelé à être, dans la bibliothèque de tous les techniciens, un de ces livres essentiels qu'on conserve pendant toute sa carrière à côté de ceux de Maxwell, de Mascart, de Poincaré, de Brillouin et de Bloch.

ERRATA.

BIBLIOGRAPHIE DU NUMÉRO DE MAI.

Page 517 :

Ligne 14 lire : $4\pi\gamma = -\Delta\omega =$ grad div ω + rot rot ω,

Ligne 22 lire : $[\nabla\omega]$ et $(\nabla\omega)$ en fonction

Lignes 28 et 29 lire : On introduira le vecteur symbolique ∇' pour les dérivées prises par rapport aux coordonnées de M, tandis que ∇ se rapporte à P, soit :

Le Gérant,

Léon EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

14e ANNÉE. — N° 7. JUILLET 1925. PRIX : 3 fr. 50

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 RUE THENARD PARIS, Ve.

... de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger......... 44 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

AVIS

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une Commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette Commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VII[e].

Membres de la Commission :

M. POMEY, Professeur à l'École Supérieure, Inspecteur général des Postes et Télégraphes, Président.

M. A. BLONDEL, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Le Général FERRIÉ, Membre de l'Institut, Inspecteur Général de la Télégraphie Militaire, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

M. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

M. GUTTON, Professeur à la Faculté des sciences de Nancy, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

Les Directeurs du Personnel, de l'Exploitation Télégraphique et de l'Exploitation Postale à l'Administration centrale des Postes et Télégraphes.

M. MILON, Professeur à l'Ecole Supérieure, Directeur de l'Exploitation Téléphonique.

M. FERRIÈRE, Professeur à l'Ecole Supérieure, Inspecteur Général des Postes et Télégraphes

M. AUGIER, Inspecteur Général des Postes et Télégraphes.

M. DIANO, Directeur des Postes et Télégraphes.

M. SAUNIER, Chef de bureau à l'Administration centrale des Postes et Télégraphes.

M. REYNAUD-BONIN, Professeur à l'École Supérieure, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes.

M. VALENSI, Professeur à l'École Supérieure, Ingénieur des Postes et Télégraphes.

MM. TAFFIN, Directeur des Postes et Télégraphes ; GAUCHIE, Inspecteur des Postes et Télégraphes, et LAVOIGNAT, Contrôleur des Postes et Télégraphes, Secrétaires

M. PAULY, Rédacteur des Postes et Télégraphes, Secrétaire adjoint.

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

TABLE DES MATIÈRES.

APPLICATION DU CALCUL DES PROBABILITÉS EN TÉLÉPHONIE,

Par A.-K. ERLANG,

Assistant scientifique de la Compagnie téléphonique de Copenhague.

Dans la théorie de la téléphonie, comme dans la téléphonie pratique, on peut diviser les problèmes en deux catégories : on peut étudier la question de savoir si les appels aboutissent sans perte ou délai considérables ; ou on peut se demander si la transmission de la parole est satisfaisante. Les questions qui sont traitées dans cet article rentrent dans la première catégorie. L'article est la traduction d'une conférence faite à Copenhague en 1920, à l'occasion du congrès scandinave J.-C. Oersted ; il a été imprimé, en danois, dans les procès-verbaux du congrès (1922) et plus tard dans la revue *Elektroteknikeren.*

L'article comprend cinq sections, accompagnées de douze tableaux (c'est-à-dire tables numériques, graphiques, et recueils de formules) ; il contient naturellement beaucoup de choses parues dans nos articles antérieurs sur ces matières, notamment dans les *Annales des P.T.T.* de 1922 ; mais il en contient aussi beaucoup de nouvelles.

Les cinq tableaux numérotés de 13 à 17, qui se rattachent étroitement à la section IV, sont ajoutés aujourd'hui à l'occasion de la publication de cet article dans les *Annales* ; j'espère ainsi servir surtout les intérêts des lecteurs qui voudront suivre la marche des calculs. Du reste, je n'ai pas cru devoir introduire de nouvelles explications, quoique le texte soit sans doute un peu trop comprimé, et encore moins aborder, à cette occasion, de nouveaux problèmes.

SECTION I.

Le problème qui fait l'objet principal du présent mémoire peut être défini provisoirement comme il suit : On a un trafic téléphonique déterminé, c'est-à-dire un certain nombre d'appels par unité de temps, et un certain nombre de lignes qui doivent acheminer toutes les conversations téléphoniques, ou bien un certain nombre de téléphonistes pour expédier les conversations. Quel sera le résultat, en supposant qu'une jonction (ou téléphoniste) puisse toujours être remplacée par une autre jonction (téléphoniste) si elle est momentanément occupée? Les circonstances peuvent varier. Dans quelques cas, on s'est arrangé de manière à refuser tout nouvel appel si tout le groupe est occupé; dans ce cas, il s'agit de déterminer le nombre d'appels à refuser. En d'autres cas, les dispositifs sont tels, qu'il n'y sera question que d'un délai d'attente au lieu d'un refus de l'appel. Dans ces cas, le problème est de calculer la probabilité d'un temps d'attente quelconque, ainsi que le temps d'attente moyen. Par voie d'expérience pratique, on a depuis longtemps quelques données sur cette question; mais elles sont insuffisantes. De nouveaux systèmes et de nouvelles propositions ne cessent jamais d'apparaître, et il serait trop coûteux de les soumettre tous aux essais pratiques. Aussi la théorie s'impose-t-elle, et cela même dans toutes les branches de la téléphonie (manuelle, automatique, etc...); les problèmes diffèrent, mais la base en est la même et les circonstances sur beaucoup de points sont analogues.

Je vais maintenant faire quelques remarques historiques, surtout à l'égard des plus anciens travaux sur ce sujet. D'abord il convient d'appeler l'attention sur le petit mémoire de M. F. Johannsen, directeur de la Compagnie des téléphones de Copenhague, concernant les temps d'attente, spécialement dans les centraux manuels (d'abord imprimé en 1907, puis publié dans la revue technique danoise *Ingeniören* en 1910, et ensuite dans *The Post Office E. E. Journal* en 1910-11). La solution du problème qui y est exposée est très simple, mais inexacte;

elle pouvait néanmoins suffire pour l'application que l'auteur avait en vue ; il avait d'ailleurs pris soin que fussent faites de nouvelles études plus approfondies de ce problème assez difficile et d'autres problèmes qui s'y rattachent. Au Danemark et à l'étranger, l'intérêt fut attiré sur cette question, et on se mit à l'étude du problème. En ce qui concerne les centraux automatiques, le premier mémoire important fut celui de M. P.-V. Christensen, ingénieur (aujourd'hui ingénieur en chef) à la susdite compagnie, qui traitait le calcul du nombre des sélecteurs (ou des circuits) dans les différentes parties ou sections d'un système automatique, question qui y fut éclaircie dans ses points essentiels, en tout cas, en ce qui concerne les systèmes existant à cette époque. Il convient aussi de nommer M. Grinsted en Angleterre et M. Spiecker en Allemagne. Parmi les auteurs des plus récents ouvrages, qu'il n'est sans doute pas nécessaire de rappeler à la mémoire de mes lecteurs, je nommerai M. Engset, chef de bureau, M. R. Holm et M. Lely. Parmi les mathématiciens qui ont préparé par leurs ouvrages la théorie, il convient de citer en premier lieu Poisson (parmi les plus anciens) (en 1837 : *Recherches sur la probabilité*, etc...), et, parmi les plus récents, M. J.-L.-W.-V. Jensen, ingénieur en chef à notre compagnie (un traité dans *Acta Math.*, 1902, dédié à la mémoire de N.-H. Abel).

Ne pouvant malheureusement donner ici les preuves des résultats que je vais exposer, je me vois obligé de renvoyer mes lecteurs, sur ce point, à mes travaux imprimés dans différentes revues (*Nyt Tidsskrift for Matematik*, 1909 ; *Elektroteknikeren*, 1917 ; *E.T.Z.* et *The Post Office E. E. Journal*, 1918 ; et *Matematisk Tidsskrift*, 1920). On y trouvera un certain nombre de résultats numériques que je ne donne pas ici.

SECTION II.

DE LA RÉPARTITION DES APPELS DANS LE TEMPS, ET DU TEMPS D'OCCUPATION.

a) En ce qui concerne la répartition des appels, on a une

formule d'une grande importance. Soit y le nombre moyen d'appels pendant un certain espace de temps. Nous allons chercher la probabilité pour qu'il se produise en réalité 0, 1, 2... appels. On trouve que ces probabilités sont respectivement :

$$P_0 = e^{-y},$$
$$P_1 = e^{-y}\, y,$$
$$P_2 = e^{-y}\frac{y^2}{2!}\ldots.,$$

ou, en général :

$$P_x = e^{-y}\frac{y^x}{x!}.$$

Il est souvent avantageux de choisir l'unité de temps de manière que la moyenne d'appels par unité de temps soit 1. Cela permet, entre autres choses, de simplifier ladite formule, parce que dans ce cas y désigne simplement le nombre d'unités de temps. Cette formule est rigoureusement exacte si les appels sont répartis tout à fait au hasard, l'un étant absolument indépendant de l'autre, sur un très long espace de temps dont l'espace considéré constitue une partie. Ici, il faut remarquer que, dans la pratique, on peut sans hésitation appliquer cette formule aux appels, mais non aux communications téléphoniques, ces dernières n'étant pas, en principe, indépendantes l'une de l'autre, mais en concurrence. Au point de vue mathématique, la formule est due à Poisson ; elle a été retrouvée plus tard plusieurs fois ; son emploi se répand de plus en plus en téléphonie, au Danemark depuis 1909, en Angleterre depuis 1907 (publiée seulement en 1915), et elle trouve aussi d'importantes applications dans des domaines absolument étrangers à la téléphonie. Il existe des tableaux de la fonction $e^{-y}\frac{y^x}{x!}$, plus ou moins détaillés, par Bortkiewicz, H. E. Soper, et R. Holm. A l'aide d'un tel tableau, on peut d'ailleurs établir, par des additions successives, un nouveau tableau des quantités

$$P_0, \qquad P_0 + P_1, \qquad P_0 + P_1 + P_2, \ldots,$$

dont il est facile de voir l'importance.

TABLEAU 1.

STATISTIQUE SUR LA DURÉE DE 2461 CONVERSATIONS (*COPENHAGUE*)

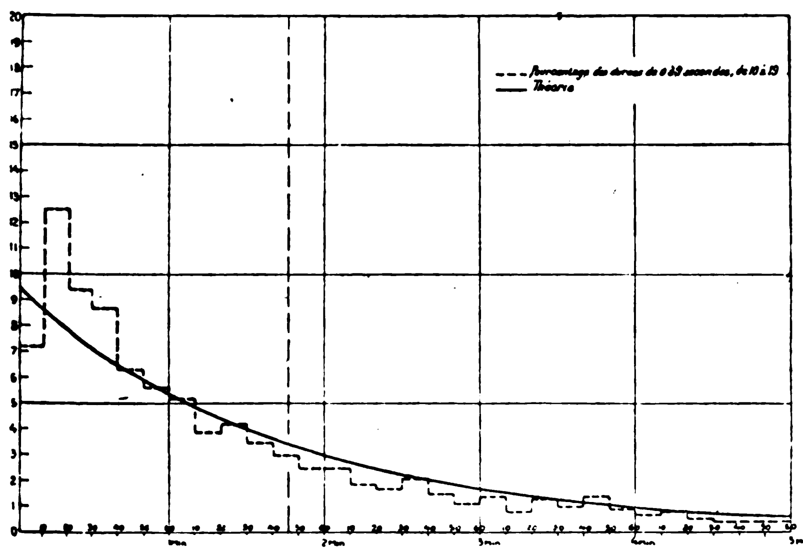
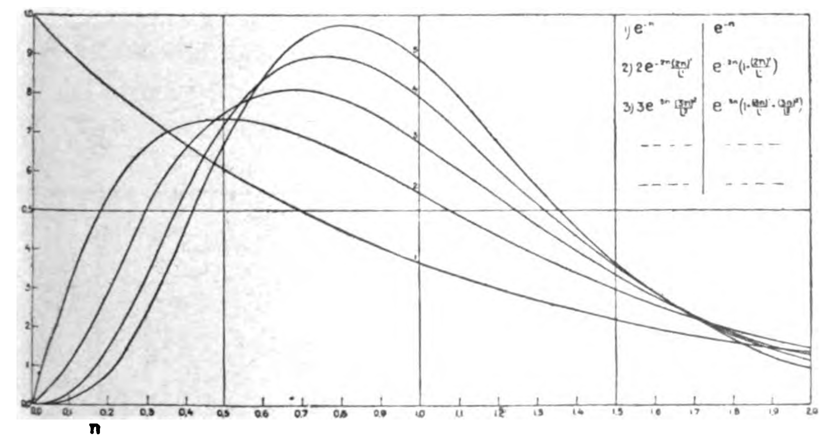


TABLEAU 2.

DURÉES DES CONVERSATIONS, DIVERSES LOIS



n

Dans l'angle droit supérieur, le signe |_ est l'équivalent du signe ! et désigne une factorielle.

b) Quant à la grandeur du temps d'occupation, autrefois on l'a considérée le plus souvent comme étant constante. C'est assez juste en ce qui concerne les communications interurbaines, qui sont coupées au bout d'un certain temps, et aussi assez exact pour les communications des téléphonistes avec les abonnés (les expéditions), quoique pas dans tous les centraux. A la plus importante catégorie de communications, les communications urbaines, s'applique avec une bonne approximation la loi de répartition :

$$S = e^{-n},$$

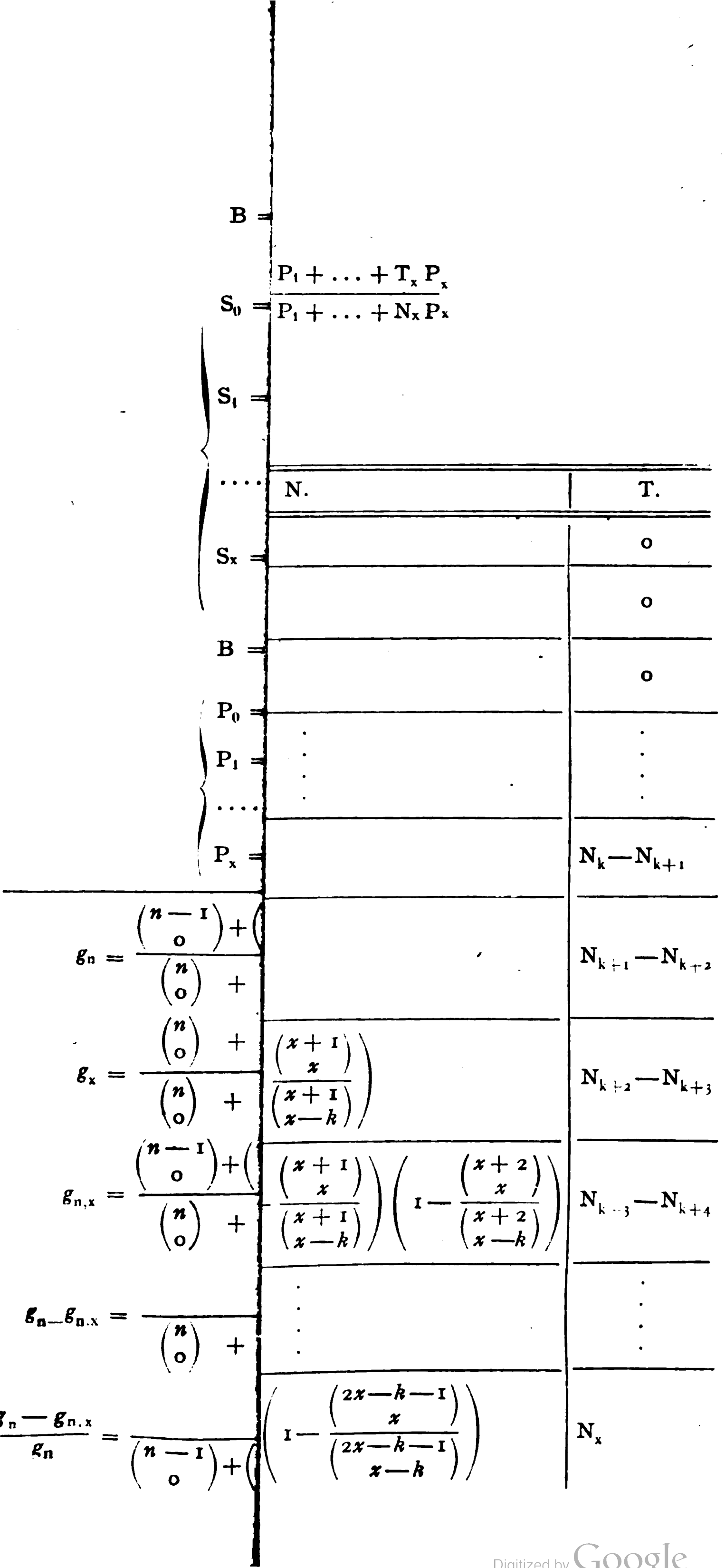
d'où :

$$S' = -e^{-n},$$

où S signifie la probabilité pour que la durée de la communication dépasse n; comme unité de temps, on a pris la durée moyenne des communications. Les deux équations expriment que la probabilité, pour qu'une communication en cours finisse en très peu de temps, est indépendante du temps qu'a déjà duré la communication, hypothèse de prime abord assez plausible. Mais l'essentiel est que l'expérience pratique s'accorde bien avec cette loi de répartition : voyez le tableau 1, qui donne le résultat des expériences faites au central principal de Copenhague. A mon avis, les résultats de M. Lely s'accordent aussi assez bien avec l'expérience pratique. Si l'on veut cependant, envisageant aussi d'autres éventualités, avoir un plus grand nombre de lois de répartition, on aboutira d'une façon naturelle à une série de T_1, T_2, $T_3, \ldots$, dont les équations sont portées sur le tableau suivant avec indication de la valeur correspondante de l'écart moyen :

T_1	$S = e^{-n}$	$S' = -e^{-n}$	1
T_2	$S = e^{-2n}\left(1 + \frac{2n}{1!}\right)$	$S' = -2e^{-2n}\frac{2n}{1!}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$
T_3	$S = e^{-3n}\left(1 + \frac{3n}{1!} + \frac{(3n)^2}{2!}\right)$	$S' = -3e^{-3n}\frac{(3n)^2}{2!}$	$\frac{1}{\sqrt{3}}$
.....	....	....	.....
.....	....	....	.....

Les deux lois de répartition déjà mentionnées prennent alors place dans le tableau, la dernière comme T_1 en tête, la



$B =$

$S_0 = \frac{P_1 + \dots + T_x P_x}{P_1 + \dots + N_x P_x}$

$S_1 =$

$\dots$

$S_x =$

$B =$

$P_0 =$

$P_1 =$

$\dots$

$P_x =$

N.	T.
	o
	o
	o
$\vdots$	$\vdots$
	$N_k - N_{k+1}$
	$N_{k+1} - N_{k+2}$
$\frac{\binom{x+1}{x}}{\binom{x+1}{x-k}}\Big)$	$N_{k+2} - N_{k+3}$
$\frac{\binom{x+1}{x}}{\binom{x+1}{x-k}}\Big)\Big(1 - \frac{\binom{x+2}{x}}{\binom{x+2}{x-k}}\Big)$	$N_{k+3} - N_{k+4}$
$\vdots$	$\vdots$
$\Big(1 - \frac{\binom{2x-k-1}{x}}{\binom{2x-k-1}{x-k}}\Big)$	N_x

$g_n = \frac{\binom{n-1}{0} + (}{\binom{n}{0} \quad +}$

$g_x = \frac{\binom{n}{0} \quad +}{\binom{n}{0} \quad +}$

$g_{n,x} = \frac{\binom{n-1}{0} + (}{\binom{n}{0} \quad +}$

$g_n - g_{n.x} = \frac{}{\binom{n}{0} \quad +}$

$\frac{g_n - g_{n.x}}{g_n} = \frac{}{\binom{n-1}{0} + (}$

première comme T_∞ en bas (durée constante, écart 0) ; une série d'équations intermédiaires sont intercalées entre les deux lois extrêmes ; l'équation T_2 est déjà proposée par M. Lely. Les courbes du tableau 2 éclairciront ce qui vient d'être dit.

Il y a lieu de remarquer qu'en se basant sur ces différentes hypothèses pour la solution des problèmes, on arrivera, dans bien des cas, au même résultat ; dans d'autres cas, il y aura une différence plus ou moins grande. Pour éviter des calculs trop longs, on se sert, si c'est possible, de T_1 ou de T_∞, plus simples que les autres, chacune à sa manière.

SECTION III.

Du barrage.

(Système sans dispositif de délai d'attente.)

a) Nous supposons qu'il y a x jonctions entre les deux points A et B, et que l'intensité du trafic est y. Par *intensité de trafic*, nous voulons entendre le nombre moyen d'appels qui se produisent pendant un temps égal à la durée moyenne des communications. Au lieu de y, on peut prendre comme donnée le rapport $\frac{y}{x}$: ce rapport s'appelle le α des jonctions ou *l'occupation*. B signifie la *probabilité de barrage*, c'est-à-dire la probabilité de trouver toutes les x jonctions occupées. On aura :

$$B = \frac{\frac{y^x}{x!}}{1 + \frac{y}{1!} + \ldots + \frac{y^x}{x!}}.$$

On a plusieurs formules approchées pour cette grandeur, qui est souvent appelée *degré de barrage* (ou proportion d'appels perdus). La formule exacte est cependant très simple. Pour le calcul pratique de la valeur de B, il est à recommander d'ajouter partout au numérateur et au dénominateur le facteur e^{-y} pour pouvoir se servir des tableaux numériques mentionnés dans la section précédente. Dans le recueil de formules (tableau 3), on

TABLEAU 4.

EXPÉRIENCES FAITES AVEC 4-5 ET 6 CIRCUITS

Dans l'angle droit inférieur, le signe |_ est l'équivalent du signe ! et désigne une factorielle.

trouve aussi les valeurs des probabilités pour que 0, 1, 2,..., jonctions soient occupées. On peut démontrer que ces résultats et ceux qui suivent dans cette section, sont indépendants de la loi de répartition des durées des conversations. Pour en faire la démonstration, on a recours à ce qu'on appelle *l'équilibre statistique* et que je ne puis aborder ici ; il en est de même de la presque totalité des formules suivantes. Sur le graphique (tableau 4), B est porté comme fonction de y pour $x = 4$, 5 et 6 ; on y a porté aussi, pour permettre des comparaisons, les résultats de quelques expériences d'une nature spéciale (les lignes brisées). Pour faire ces expériences, j'ai pris une série de cent appels imaginaires, répartis par hasard autant que possible ; j'ai trouvé les moments où se produisent ces appels, en prenant les trois derniers chiffres des cent logarithmes à 7 décimales log 1 — log 100, et en rangeant les nombres trouvés selon leur grandeur. On suppose premièrement une certaine durée de communication, et alors il est facile de nous rendre compte de ce que deviennent ces cent appels, s'ils aboutissent ou non ; puis on prend une autre durée de communication (c'est-à-dire un autre y), etc...

b) Le problème que nous allons aborder maintenant est le suivant. Nous avons x jonctions entre deux points A et B, et d'ailleurs n jonctions qui relient A à n points différents C_1, $C_2, \ldots, C_n$. Les communications se font entre B et ces points C en passant par A ; l'intensité en est β pour chacune des voies ; en tout, βn ; d'ailleurs, il est indifférent que la demande d'une communication se fasse d'un côté ou de l'autre. On peut poser maintenant différentes questions, mais surtout les trois suivantes : Quelle est la probabilité g_n pour qu'un appel puisse être desservi par une jonction déterminée parmi les n jonctions ? Quelle est la probabilité g_x pour qu'une ou plusieurs des x jonctions en concours soient libres ? Quelle est la probabilité $g_{n,x}$ pour qu'il n'y ait pas d'obstacle en route ? Une fois ces probabilités déterminées, on peut en déduire d'autres, comme :

$$g_n - g_{n,x} \quad \text{et} \quad \frac{g_n - g_{n,x}}{g_n} .$$

dont la signification est facile à voir (voyez le tableau 3). Ledit problème a été autrefois traité par M. T. Engset, mais d'une façon approchée ; aussi les résultats qu'il a obtenus diffèrent-ils un peu des miens.

c) Systèmes du type dit a « sectionnement du multiplage gradué » (« grading and interconnecting », « Mischung und Staffelung »). — Ces systèmes jouent un grand rôle pour les centraux automatiques, et la question de savoir ce qu'on peut obtenir par ces voies présente un grand intérêt, par exemple en Angleterre, en Amérique, et en Allemagne. C'est que les chercheurs automatiques n'ont qu'un nombre limité (le plus souvent pas très grand) de contacts et, en conséquence, ne donnent accès qu'à autant de jonctions. Supposons que nous disposions en tout de x jonctions, et que les chercheurs n'aient que k contacts. Dans chaque cas particulier, il n'y aura alors, parmi les x jonctions, que k jonctions qui seront parcourues et essayées pour en trouver une de libre. On sait depuis longtemps que ce n'est pas une solution heureuse que de diviser les jonctions en un certain

TABLEAU 5.

Appels perdus, °/₀₀, pour x circuits, dont on choisit k.

x =	5		10			15				20					25						30							18			
k =	0	5	0	5	10	0	5	10	15	0	5	10	15	20	0	5	10	15	20	25	0	5	10	15	20	25	30	0	5	10	15
$y = 0$																															
0,5																															
1		3																													
1,5		14																													
2		37			0																										
2,5		70			0																										
3		110			1		1																								
3,5		154			2		1																								
4		199			5		3																								
4,5		243		32	10		5																								
5	1000	285	1000	47	18	1000			0																						
5,5		324		64	29																									0	
6		360		83	43		17	2	1																					0	
6,5		394		104	60																									1	
7		425		126	79		30	6	3																					1	
7,5		453		149	100																									2	
8		479		173	122		50	14	9		14	1	0	0																3	
8,5		503		196	145						19	2	1	0																5	
9		525		219	168		75	29	20		24	3	1	1																7	
9,5		545		242	191						30	5	2	1																11	
10	1000	564	1000	264	215	1000	103	48	36	1000	37	7	3	2	1000	14	1	0			1000									15	
10,5					237						44	9	4	3																20	
11					260		133	74	59		52	13	6	5		21	1	0	0											27	

14					377		227	166	148		113	53	35	30		53	11	5	3	2		25	2	0	0						
14, 5					394		242	182	164		125	62	43	37																	
15					410	1000	258	198	180	1000	136	72	52	46	1000	68	18	9	6	5	1000	33	4	1	0	0	0				
15, 5							272	214	197			82	62	55																	
16							286	230	213			93	73	64		84	27	15	11	9		43	6	2	1	1	1				
16, 5							300	246	228			105	83	75																	
17							314	260	224			117	94	86		101	39	23	18	16		54	10	4	2	2	1				
17, 5							326	275	259			129	106	97																	
18							340	290	274			141	118	109		120	53	35	28	25		66	15	7	4	3	3				
18, 5									289					121																	
19														134		138	69	48	40	36		79	22	11	7	6	5				
19, 5																															
20															1000	158	86	64	54	50	1000	93	31	17	12	9	8				
20, 5																															
21																						108	41	24	18	15	14				
21, 5																															
22																						124	54	34	26	22	21				
22, 5																															
23																								45	36	31	29				
23, 5																															
24																								57	47	43	40				
24, 5																															
25																										55	53				
25, 5																															
26																											67				
26, 5																															
27																											82				
27, 5																															
28																											98				
28, 5																															
29																											115				
29, 5																															
30																											132				

nombre de groupes distincts, contenant chacun k jonctions, et de répartir la totalité du trafic y entre eux. Un autre procédé est de diviser les jonctions en un certain nombre de groupes distincts et en un groupe commun à tous les appels, ce dernier n'entrant en fonction que quand le groupe distinct a été essayé et s'est montré occupé. On peut aussi se servir d'une permutation circulaire : le trafic est divisé en x parties dont la première essaye les jonctions n°s 1, 2, 3,..., k; la deuxième, les n°s 2, 3, 4,..., $(k+1)$; et ainsi de suite, ce qui permet de charger toutes les lignes au même degré. Ce n'est pas là encore le meilleur procédé, c'est-à-dire celui qui donne au trafic les meilleures conditions pour aboutir. La méthode idéale est celle qui consiste en ce que les k jonctions soient choisies de toutes les manières possibles, et non pas seulement des x manières que nous venons de nommer, et de les faire parcourir non pas dans un ordre fixé d'avance, mais dans un ordre absolument arbitraire; cela exige naturellement que le trafic soit divisé en un très grand nombre de parties. Dans ces hypothèses, on aboutit aux formules du tableau 4 et aux résultats numériques (pour $x = 5, 10, 15, 20, \ldots$; $k = 5, 10, 15, 20, \ldots$) du tableau 5 ; seules, quelques-unes de ces valeurs numériques ont déjà été publiées. Pour faciliter le travail de calcul, voici ci-dessous quelques formules approchées, qui peuvent souvent remplacer les formules exactes, mais dont on ne doit se servir qu'avec prudence :

$$B = \left(\frac{y}{x}\right)^{k} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(x et y sont grands).}$$

$$B = y^{k} \frac{(x-k)!}{x!} = e^{-y} \cdot \frac{y^{x}}{x!} : \left(e^{-y} \frac{y^{x-k}}{(x-k)!}\right) \ldots \text{(y est petit).}$$

Il y a probablement plusieurs arrangements qui diffèrent plus ou moins du susdit procédé idéal et qui donnent pourtant des résultats qui ne sont guère inférieurs ; mais à l'heure actuelle on n'en saurait rien dire de précis.

TABLEAU 9.
Formules sur les délais d'attente.
(Hypothèse T_∞)

$x = 1$	$S(<) = a_0 \cdot r(0, -z)$
$(z = yn = \alpha n)$ $\lambda_0 = 1 - \alpha$	$\bar{r}(0, -z) = e^{z} + e^{z-\alpha} \frac{(\alpha - z)^1}{1!} + \dots$
	$M = \frac{\alpha^2}{2\alpha(1-\alpha)} = \frac{\alpha}{2(1-\alpha)}$
$x = 2$	$S(<) = a_1 \cdot \bar{\bar{r}}(0, -z) + a_0 \cdot \bar{\bar{r}}(1, -z)$

Appendice. Diverses hypothèses (seulement pour $x = 1$).

T_1	T_2	T_3	T_∞
$u = \alpha$ $r - u = 0$ $c_1 = 1 - \alpha$	$u = \frac{1}{2}\alpha$ $r^2 - ur - u = 0$ $\begin{cases} c_1 + c_2 = 1 - \alpha \\ c_1 r_1 + c_2 r_2 = \frac{1}{2}\alpha(1-\alpha) \end{cases}$	$u = \frac{1}{3}\alpha$ $r^3 - ur^2 - ur - u = 0$ $\begin{cases} c_1 + c_2 + c_3 = 1 - \alpha \\ c_1 r_1 + c_2 r_2 + c_3 r_3 = \frac{1}{3}\alpha(1-\alpha) \\ c_1 r_1^2 + c_2 r_2^2 + c_3 r_3^2 = \frac{1}{3}\alpha(1-\alpha)(1+\frac{1}{3}\alpha) \end{cases}$	Voyez plus haut.
$S = \frac{c_1 r_1}{1 - r_1} e^{(r_1 - 1)n}$ $= \alpha e^{-(1-\alpha)n}$	$S = \frac{c_1 r_1}{1 - r_1} e^{2(r_1 - 1)n} + \frac{c_2 r_2}{1 - r_2} e^{2(r_2 - 1)n}$	$S = \frac{c_1 r_1}{1 - r_1} e^{3(r_1 - 1)n} + \frac{c_2 r_2}{1 - r_2} e^{3(r_2 - 1)n} + \frac{c_3 r_3}{1 - r_3} e^{3(r_3 - 1)n}$	
$M = \frac{2}{2} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{\alpha}{1-\alpha}$	$M = \frac{3}{4} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha}$	$M = \frac{4}{6} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha} = \frac{2}{3} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha}$	$M = \frac{1}{2} \cdot \frac{\alpha}{1-\alpha}$

SECTION IV.

Délais d'attente.

a) Nous supposons provisoirement que la durée des conversations est constante (hypothèse T_∞). Soient x le nombre de jonctions et y l'intensité de trafic ; on aura nécessairement : $y < x$. En premier lieu, il s'agit maintenant de déterminer S ($>$), probabilité pour que le délai d'attente dépasse une certaine grandeur, ou S ($<$), probabilité pour que le délai d'attente soit inférieur à une certaine grandeur. Le délai d'attente est désigné par n si l'on prend la durée de conversation comme unité de temps, mais par z si l'on prend comme unité de temps l'espace de temps, pendant lequel se produit en moyenne un appel. Nous préférons ici prendre comme unité de temps la durée de conversation ; on a d'ailleurs la relation : $z = yn$. Les formules nécessaires pour le calcul se trouvent dans le recueil de formules (tableau 6) ; quelques-uns des résultats finaux sont donnés comme graphiques dans les tableaux 7, 8, et 9.

Ici, il y a lieu d'ajouter quelques explications. Le calcul numérique est basé sur une table de la fonction de Poisson déjà plusieurs fois mentionnée :

$$e^{-y}\frac{y^x}{x!},$$

cette fois calculée seulement pour des valeurs *négatives* de la variable y. C'est que la plus grande partie du travail consiste à calculer des séries du type suivant :

$$\bar{r}(o, -z) = e^{z} + e^{z-\alpha}\frac{(\alpha - z)^1}{1!} + e^{z-2\alpha}\frac{(2\alpha - z)^2}{2!} + \ldots,$$

pour $x = 1$,

ou :

$$\bar{\bar{r}}(o, -z) = e^{z} + e^{z-2\alpha}\frac{(2\alpha - z)^2}{2!} + e^{z-4\alpha}\frac{(4\alpha - z)^4}{4!} + \ldots,$$

$$\bar{\bar{r}}(1, -z) = e^{z}\frac{z^1}{1!} + e^{z-2\alpha}\frac{(2\alpha - z)^3}{3!} + e^{z-4\alpha}\frac{(4\alpha - z)^5}{5!} + \ldots$$

TABLEAU 7.

DÉLAIS D'ATTENTE X=1

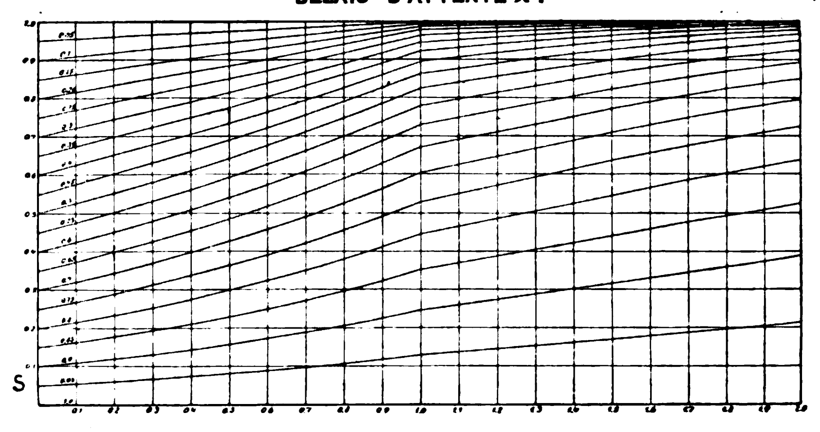


TABLEAU 8.

DÉLAIS D'ATTENTE X=2

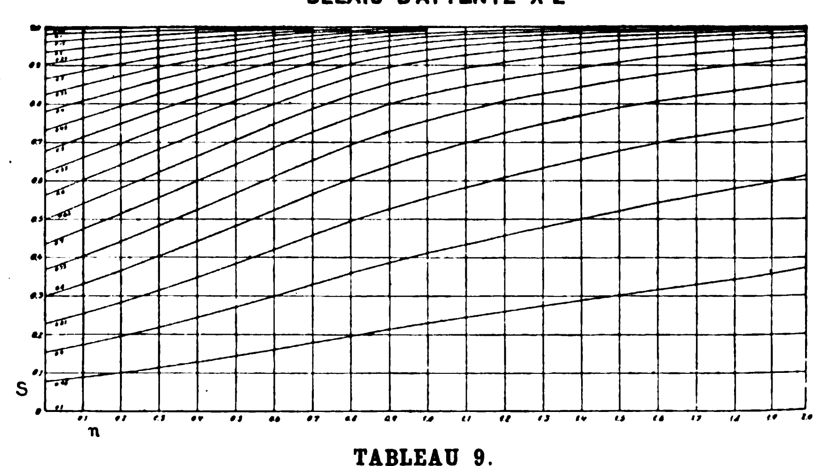
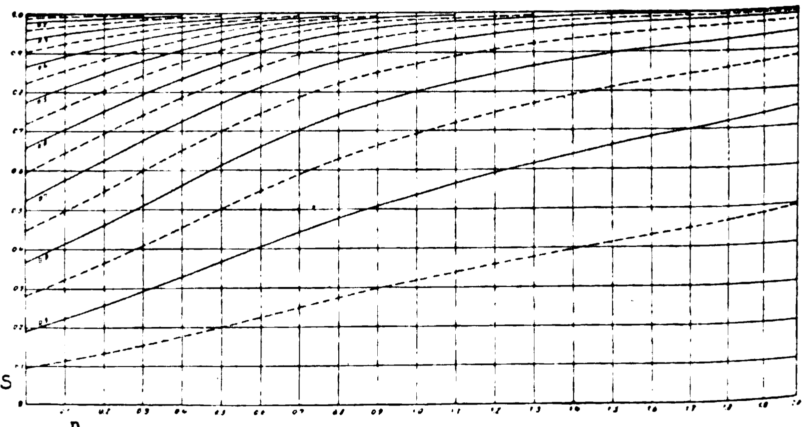


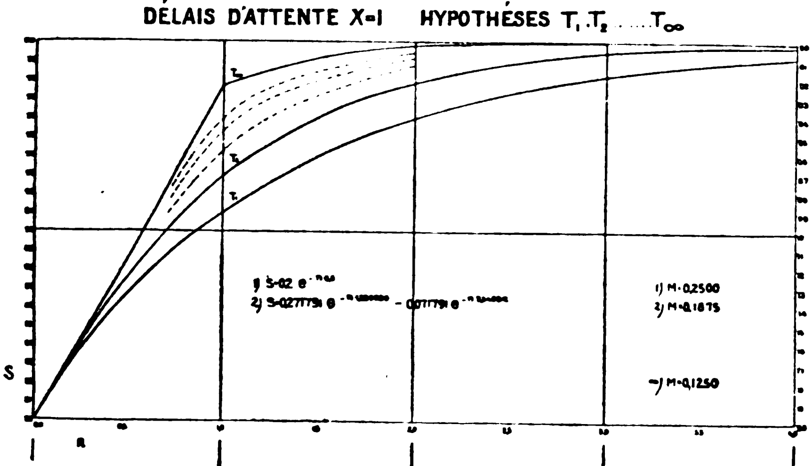
TABLEAU 9.

DÉLAIS D'ATTENTE X=3



pour $x = 2$, etc... On voit facilement que tous les termes de ces séries sont des exemples de la fonction de Poisson, et qu'ils se trouvent sur certaines lignes obliques dans la table dont nous venons de parler. J'attire l'attention sur ce que ces séries ne contiennent qu'autant de termes que la ligne oblique. Le nombre de

TABLEAU 10.



termes dépend d'ailleurs de Z ou, si l'on veut, de n, et les changements dans le nombre de termes ont lieu pour

$$n = 0, 1, 2, 3 \ldots,$$

d'où il résulte que les courbes du tableau 7 font apparaître un coude (une inégalité) pour $n = 1$.

On remarquera sans doute les nouvelles formules simples pour le délai d'attente moyen ; elles sont dues à la collaboration de M. H.-C. Nybölle, licencié ès sciences, et de moi-même.

b) Nous quittons maintenant l'hypothèse T_∞ et allons aborder le second cas principal T_1. Ici, les formules sont plus simples, les courbes plus unies, et tous les calculs plus faciles à faire. Quant aux résultats, on verra qu'ils s'écartent plus ou moins des précédents ; on trouvera ainsi le délai d'attente moyen 2 fois plus grand pour $x = 1$, de 1 1/2 à 2 fois plus grand pour $x = 2$, de 1 1/3 à 2 fois plus grand pour $x = 3$, de

manière que les petites valeurs correspondent toujours à de petites valeurs de y, et les grandes à de grandes valeurs de y.

c) Finalement, on a donné quelques formules qui donnent, seulement pour $x = 1$, les résultats qu'on obtiendra en se basant successivement sur les hypothèses T_1, T_2, T_3 et finalement T_∞. Le graphique (tableau 10) donne des indications sur les résultats des formules ; comme exemple, on a pris $x = 0,2$.

SECTION V.

Problèmes mixtes ou composés.

a) Nous avons traité, dans la partie précédente, deux problèmes principaux, correspondant aux deux manières différentes dont on peut s'arranger, soit que chaque appel aboutisse à une communication (dans certains cas après un certain délai d'attente), soit que les appels qui ne peuvent être expédiés sur le champ, soient complètement refusés et en conséquence perdus. Des exemples de ces deux cas sont assez fréquents. Ce qui peut présenter un certain intérêt, c'est d'essayer de comparer les inconvénients que possède chacun de ces procédés, en supposant naturellement le même nombre de jonctions et le même trafic. Mais voici la difficulté : le temps d'attente et le refus d'un appel sont des grandeurs hétérogènes. Néanmoins, en formant une table donnant le rapport entre la durée moyenne d'attente dans l'un des systèmes et la « perte » dans l'autre système, nous pourrons tirer quelques conclusions. On verra alors que ce rapport croît avec l'intensité du trafic ; cela veut dire que le système avec dispositif de délai d'attente doit avoir la préférence quand le trafic est faible ; l'autre système, quand le trafic est assez important. On serait probablement, de prime abord, porté à le supposer.

b) Dans un grand bureau téléphonique ayant beaucoup d'opératrices, quelques-unes de ces opératrices sont presque toujours momentanément libres quand arrive un appel, et ainsi rien

$x = 3$

V (R con | 3β ; $\frac{(2)}{(1)} = (3\alpha + 2\beta) : 2$; $\frac{(3)}{(2)} = (3\alpha + \beta) : 3$
+ (2) + (3) = 1

V (R nor | 3β ; $\frac{(2)}{(1)} = (3\alpha + 2\beta) : 2$; $\frac{(3)}{(2)} = (3\alpha + \beta) : 3$; $\frac{(4)}{(3)} = \alpha$
+ (2) + (3) + (4) = 1
$^{-3n}$

V (R réd | 3β ; $\frac{(2)}{(1)} = (3\alpha + 2\beta) : 2$; $\frac{(3)}{(2)} = (3\alpha + \beta) : 3$; $\frac{(4)}{(3)} = \alpha$; $\frac{(5)}{(4)} = \alpha$
+ (2) + (3) + (4) + (5) = 1
$^{-3n} + (4) . e^{-3n} . \left(1 + \frac{3n}{1\,!}\right)$
$+ (4) . \frac{2}{3}$

V (R extra- | 3β ; $\frac{(2)}{(1)} = (3\alpha + 2\beta) : 2$; $\frac{(3)}{(2)} = (3\alpha + \beta) : 3$; $\frac{(4)}{(3)} = \alpha$;
α ; $\frac{(6)}{(5)} = \alpha$
+ (2) + (3) + (4) + (5) + (6) = 1
$^{3n} + (4) . e^{-3n} . \left(1 + \frac{3n}{1\,!}\right) + (5) . e^{-3n} . \left(1 + \frac{3n}{1\,!} + \frac{(3n)^2}{2\,!}\right)$
$+ (4) . \frac{2}{3} + (5) . \frac{3}{3}$

V (Pa ren | $\frac{2)}{1)} = 3\alpha : 2$; $\frac{(3)}{(2)} = 3\alpha : 3$; $\frac{(4)}{(3)} = \alpha \ldots$
+ (2) + ... = 1
$^{3n} + (4) . e^{-3n} . \left(1 + \frac{3n}{1\,!}\right) + (5) . e^{-3n} . \left(1 + \frac{3n}{1\,!} + \frac{(3n)^2}{2\,!}\right) + \ldots$
$\frac{3)}{-\alpha} . e^{-3n(1-\alpha)} = \frac{\frac{9}{2}\alpha^3}{1 + 2\alpha + \frac{3}{2}\alpha^2} . e^{-3n(1-\alpha)}$
$+ (4) . \frac{2}{3} + (5) . \frac{3}{3} + \ldots$
$\frac{(3)}{(1-\alpha)^2} = \frac{\frac{3\alpha^3}{2}}{\left(1 + 2\alpha + \frac{3\alpha^2}{2}\right)\left(1 - \alpha\right)}$

TABLEAU 12.

Formules concernant la répartition automatique à l'intérieur d'un grand groupe (Hypothèse T_1).

$v_1 = v_2 = \ldots = 0$ (Renvoi complet.)	$\frac{(1)}{(0)} = \alpha_1$ $(0) + (1) = 1$ $S = 0$ $M = 0$ $\frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1} = \alpha$
$v_1 = v_2 = \ldots = 1$	$\frac{(1)}{(0)} = \alpha_1 \quad \frac{(2)}{(1)} = \alpha_1$ $(0) + (1) + (2) = 1$ $S = \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1} . e^{-n}$ $M = \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1}$ $\frac{\alpha_1 + \alpha_1}{1 + \alpha_1 + \alpha_1^2} = \alpha$
$v_1 = v_2 = \ldots = 2$	$\frac{(1)}{(0)} = \alpha_1 \quad \frac{(2)}{(1)} = \alpha_1 \quad \frac{(3)}{(2)} = \alpha_1$ $(0) + (1) + (2) + (3) = 1$ $S = \frac{\alpha_1 . e^{-n} + \alpha_1^2 . e^{-n}(1 + n)}{1 + \alpha_1 + \alpha_1^2}$ $M = \frac{\alpha_1 + 2\alpha_1^2}{1 + \alpha_1 + \alpha_1^2}$ $\frac{\alpha_1 + \alpha_1^2 + \alpha_1^3}{1 + \alpha_1 + \alpha_1^2 + \alpha_1^3} = \alpha$
$v_1 = v_2 = \ldots = 3$	$\frac{(1)}{(0)} = \alpha_1 \quad \frac{(2)}{(1)} = \alpha_1 \quad \frac{(3)}{(2)} = \alpha_1 \quad \frac{(4)}{(3)} = \alpha_1$ $(0) + (1) + (2) + (3) + (4) = 1$ $S = \frac{\alpha_1 . e^{-n} + \alpha_1^2 . e^{-n}(1 + n) + \alpha_1^3 . e^{-n}\left(1 + n + \frac{n^2}{2}\right)}{1 + \alpha_1 + \alpha_1^2 + \alpha_1^3}$ $M = \frac{\alpha_1 + 2\alpha_1^2 + 3\alpha_1^3}{1 + \alpha_1 + \alpha_1^2 + \alpha_1^3}$ $\frac{\alpha_1 + \alpha_1^2 + \alpha_1^3 + \alpha_1^4}{1 + \alpha_1 + \alpha_1^2 + \alpha_1^3 + \alpha_1^4} = \alpha$
$v_1 = [\ldots] = \infty$ (Pas de renvoi.)	$\frac{(1)}{(0)} = \alpha \quad \frac{(2)}{(1)} = \alpha \ldots$ $(0) + (1) + \ldots = 1$ $S = \alpha . e^{(1-\alpha)n}$ $M = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$ $\alpha_1 = \alpha$

TA

Valeurs de la f

—1·0	—0·9	—0·8	—0·7	—0·6
2·718282	2·459603	2·225541	2·013753	1·822119
—2·718282	—2·213643	—1·780433	—1·409627	—1·093271
1·359141	·996139	·712173	·493363	·327981
— ·453047	— ·298842	— ·189913	— ·115119	— 65596
·113262	67239	37983	20146	9839
— 22652	— 12103	— 6077	— 2820	— 1181
3775	1815	810	329	118
— 539	— 233	— 93	— 33	— 10
67	26	9	3	1
— 7	— 3	— 1		
1	0			

T

—2·0	—1·9	—1·8	—1·7	—1·6
7·389056	6·685894	6·049647	5·473947	4·953032
—14·778112	—12·703199	—10·889365	— 9·305711	— 7·924852
14·778112	12·068039	9·800429	7·909854	6·339881
— 9·852075	— 7·643092	— 5·880257	— 4·482251	— 3·381270
4·926037	3·630468	2·646116	1·904957	1·352508
— 1·970415	— 1·379578	— ·952602	— ·647685	— ·432803
·656805	·436866	·285781	·183511	·115414
— ·187659	— ·118578	— 73486	— 44567	— 26380
46915	28162	16534	9470	5276
— 10425	— 5945	— 3307	— 1789	— 938
2085	1130	595	304	150
— 379	— 195	— 97	— 47	— 22
63	31	15	7	3
— 10	— 5	— 2	— 1	
1	1	0	0	

isson, y négatif.

—0·4	—0·3	—0·2	—0·1	—0·0	y / x
·491825	1·349859	1·221403	1·105171	1·000000	0
·596730	— ·404958	— ·244281	— ·110517		1
·119346	60744	24428	5526		2
15913	— 6074	— 1629	— 184		3
1591	456	81	5		4
127	— 27	— 3			5
8	1				6
					7
					8
					9
					10
					11
					12
					13
					14
					15

—1·4	—1·3	—1·2	—1·1	—1·0	y / x
055200	3·669297	3·320117	3·004166	2·718282	0
·677280	— 4·770086	— 3·984140	— 3·304583	— 2·718282	1
·974096	3·100556	2·390484	1·817520	1·359141	2
·854578	— 1·343574	— ·956194	— ·666424	— ·453047	3
·649102	·436662	·286858	·183267	·113262	4
·181749	— ·113532	— 68845	— 40319	— 22652	5
42408	24599	13769	7392	3775	6
8482	— 4568	— 2360	— 1162	— 539	7
1484	742	354	160	67	8
231	— 107	— 47	— 20	— 7	9
32	14	6	2	1	10
4	— 2	— 1	0		11
0	0				12
					13
					14
					15

TA

—3·0	—2·9	—2·8	—2·7	—2·6	—2·
20·085537	18·174145	16·444647	14·879732	13·463738	12·
—60·256611	—52·705022	—46·045011	—40·175276	—35·005719	—30·
90·384916	76·422281	64·463015	54·236622	45·507434	38·
—90·384916	—73·874872	—60·165481	—48·812960	—39·439776	—31·
67·788687	53·559282	42·115837	32·948748	25·635855	19·
—40·673212	—31·064384	—23·584869	—17·792324	—13·330644	— 9·
20·336606	15·014452	11·006272	8·006546	5·776613	4·
— 8·715688	— 6·220273	— 4·402509	— 3·088239	— 2·145599	— 1·
3·268383	2·254849	1·540878	1·042281	·697320	·
— 1·089461	— ·726562	— ·479384	— ·312684	— ·201448	— ·
·326838	·210703	·134228	·084425	·052376	·
— 89138	— 55549	— 34161	— 20722	— 12380	—
22284	13424	7971	4663	2682	
— 5143	— 2995	— 1717	— 968	— 536	—
1102	620	343	187	100	
— 220	— 120	— 64	— 34	— 17	—
41	22	11	6	3	
— 7	— 4	— 2	— 1		
1	1				

TA

—4·0	—3·9	—3·8	—3·7	—3·6	—
54·598150	49·402449	44·701184	40·447304	36·598234	33·
—218·392600	—192·669552	—169·864501	—149·555026	—131·753644	—115·
436·785200	375·705626	322·742552	276·861798	237·156559	202·
—582·380267	—488·417314	—408·807233	—341·462884	—284·587871	—236·
582·380267	476·206881	388·366871	315·853168	256·129084	207·
—465·904214	—371·441367	—295·158820	—233·731344	—184·412940	—144·
310·602809	241·436889	186·933921	144·134329	110·647764	84·
—177·487319	—134·514838	—101·478414	— 76·185288	— 56·904564	— 42·
88·743660	65·575984	48·202246	35·235696	25·607054	18·
— 39·441627	— 28·416260	— 20·352060	— 14·485786	— 10·242822	— 7·
15·776651	11·082341	7·733783	5·359741	3·687416	2·
— 5·736964	— 3·929194	— 2·671670	— 1·802822	— 1·206791	— ·
1·912321	1·276988	·846029	·555870	·362037	·
— ·588407	— ·383096	— ·247301	— ·158209	— ·100256	—
168116	106720	67124	41812	25780	

—2·4	—2·3	—2·2	—2·1	—2·0	y / x
1·023176	9·974182	9·025013	8·166170	7·389056	0
6·455623	—22·940620	—19·855030	—17·148957	—14·778112	1
1·746748	26·381713	21·840533	18·006405	14·778112	2
5·397398	—20·225980	—16·016391	—12·604483	— 9·852075	3
5·238439	11·629938	8·809015	6·617354	4·926037	4
7·314451	— 5·349771	— 3·875967	— 2·779289	— 1·970415	5
2·925780	2·050746	1·421188	·972751	·656805	6
1·003125	— ·673814	— ·446659	— ·291825	— ·187659	7
·300937	·193722	·122831	·076604	46915	8
·080250	— ·049507	— ·030025	— 17874	— 10425	9
·019260	·011387	·006606	·003754	2085	10
4202	— 2381	— 1321	— 717	— 379	11
840	456	242	125	63	12
155	— 81	— 41	— 20	— 10	13
27	13	6	3	1	14
4	— 2	— 1	0		15
1					16
					17
					18
					19
					20

—3·4	—3·3	—3·2	—3·1	—3·0	y / x
29·964100	27·112639	24·532530	22·197951	20·085537	0
101·877940	— 89·471708	— 78·504100	— 68·813649	— 60·256611	1
173·192498	147·628319	125·606559	106·661156	90·384916	2
106·284831	—162·391151	—133·980330	—110·216528	— 90·384916	3
166·842106	133·972700	107·184264	85·417809	67·788687	4
113·452632	— 88·421982	— 68·597929	— 52·959042	— 40·673212	5
64·289825	48·632090	36·585562	27·362172	20·336606	6
31·226486	— 22·926557	— 16·724828	— 12·117533	— 8·715688	7
13·271257	9·457205	6·689931	4·695544	3·268383	8
5·013586	— 3·467642	— 2·378642	— 1·617354	— 1·089461	9
1·704619	1·144322	·761166	·501380	·326838	10
·526882	— ·343297	— ·221430	— ·141298	— ·089138	11
·149283	94407	59048	36502	22284	12
39043	— 23965	— 14535	— 8704	— 5143	13
9482	5649	3322	1927	1102	14
				— 220	15
					16
					17
					18
					19
					20

ne s'opposerait à ce que l'appel fût expédié immédiatement, si l'on pouvait obtenir une collaboration ou une répartition du travail parfaite entre les téléphonistes. Naguère, on ne connaissait que l'assistance que se donnaient les voisines, et qui n'était pas à dédaigner. On peut, d'une manière assez correcte, la décrire en quelques mots comme il suit. Il y a un grand nombre de petits groupes de 3 ou 2 téléphonistes ($x = 3$ ou $x = 2$), dans l'intérieur desquels se fait l'entr'aide. De nos jours, et même de différentes manières, on a beaucoup perfectionné la possibilité de renvoyer tout appel à une place (opératrice) qui ne soit pas trop chargée à ce moment. Il faut remarquer qu'on peut définir un peu différemment ce qu'on appelle « surcharge ». Il ne faut pourtant pas exagérer le renvoi (c'est-à-dire déclarer en trop de cas les positions surchargées), parce qu'alors il se peut, dans la pratique, que la répartition elle-même des appels exige un temps non négligeable, même si elle se fait plus ou moins automatiquement. Prenons comme exemple le bureau principal de Copenhague. Là, deux moyens différents sont utilisés pour répartir le trafic. En premier lieu, les opératrices peuvent s'assister en tant que voisines, comme il est dit plus haut. Mais, de plus, elles peuvent renvoyer tout appel inopportun ; cela se fait manuellement et en même temps que l'expédition proprement dite ; un chercheur automatique dirigera alors l'appel vers une opératrice libre. En vue de ne pas exagérer le renvoi, on a adopté dans la pratique la règle suivante : si le susdit petit groupe de voisines est complètement occupé, et si, en même temps, un appel attend, chaque nouvel appel sera à renvoyer. Nous désignons cette règle par $V = 1$. Naturellement, d'autres règles peuvent être envisagées. Nous nous servons d'ailleurs des désignations suivantes : le nombre d'appels par opératrice et par unité de temps est α. Comme unité de temps, nous prenons le temps moyen qu'exige une expédition (l'établissement d'une communication), et nous nous basons sur la loi de distribution T_1. Le nombre des opératrices qui peuvent collaborer directement est x ($x = 1$, 2 ou 3). Le nombre maximum d'appels qu'on laisse attendre dans un groupe est V. Voilà les données. Soit B la probabilité de ren-

TABLEAU II.

Partie réelle ξ des racines (α, β, γ ...) de l'équation $\zeta . e^{-\zeta} = k . \alpha e^{-\alpha}$; $k = \sqrt[x]{1}$. $x = 40$; $\alpha = 0·1, 0·2 \ldots 0·9$.

	0	1/40	2/40	3/40	4/40	5/40	6/40	7/40	8/40	9/40	10/40
α = 0.0	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000
0.1	·100000	·098318	·093384	·085523	·075209	·062996	·049459	·035142	·020526	·006026	—·008014
0.2	·200000	·195248	·181742	·161367	·136390	·108863	·080384	·052096	·024776	—·001061	—·025080
0.3	·300000	·289555	·261701	·223504	·180973	·137812	·096012	·056580	·019997	—·013533	—·043943
0.4	·400000	·378814	·328822	·269263	·209659	·153432	·101621	·054414	·011697	—·026738	—·061112
0.5	·500000	·458594	·379382	·299282	·226074	·160477	·101913	·049651	·003038	—·038464	—·075296
0.6	·600000	·522664	·413054	·317103	·234571	·162872	·100015	·044578	—·004468	—·047882	—·086238
0.7	·700000	·566589	·433163	·326920	·238599	·163161	·097680	·040300	—·010237	—·054824	—·094122
0.8	·800000	·591943	·444114	·331982	·240351	·162760	·095759	·037248	—·014160	—·059436	—·099285
0.9	·900000	·604078	·449321	·334305	·241027	·162356	·094585	·035499	—·016354	—·061982	—·102115
α = 1.0	1·000000	·607501	·450801	·334952	·241195	·162206	·094210	·034954	—·017031	—.062763	—·102980

	10/40	11/40	12/40	13/40	14/40	15/40	16/40	17/40	18/40	19/40	20/40
α = 0.0	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000
0.1	—·008014	—·021317	—·033660	—·044866	—·054799	—·063353	—·070447	—·076020	—·080031	—·082448	—·083256
0.2	—·025080	—·047066	—·066883	—·084448	—·099711	—·112645	—·123233	—·131470	—·137354	—·140885	—·142061
0.3	—·043943	—·071239	—·095462	—·116665	—·134909	—·150246	—·162726	—·172388	—·179266	—·183383	—·184755
0.4	—·061112	—·091635	—·118496	—·141854	—·161844	—·178581	—·192157	—·202642	—·210094	—·214550	—·216032
0.5	—·075296	—·107806	—·136281	—·160954	—·182010	—·199597	—·213839	—·224825	—·232625	—·237287	—·238835
0.6	—·086238	—·119983	—·149462	—·174951	—·196669	—·214788	—·229442	—·240740	—·248755	—·253542	—·255134
0.7	—·094122	—·128626	—·158725	—·184720	—·206847	—·225295	—·240206	—·251695	—·259847	—·264714	—·266333
0.8	—·099285	—·134240	—·164705	—·190999	—·213369	—·232010	—·247074	—·258679	—·266911	—·271826	—·273459
0.9	—·102115	—·137299	—·167953	—·194401	—·216897	—·235637	—·250781	—·262444	—·270719	—·275655	—·277299
α = 1.0	—·102980	—·138233	—·168943	—·195437	—·217969	—·236740	—·251906	—·263587	—·271873	—·276815	—·278464

TABLEAU 15.

Partie imaginaire η des racines (α, β, γ...) de l'équation $\zeta e^{-\zeta} = k . \alpha\ e^{-\alpha}$; $k = \sqrt[x]{1}$. $x = 40$; $\alpha = 0{\cdot}1,\ 0{\cdot}2,\ 0{\cdot}3\ \ldots\ 0{\cdot}9$.

	0	1/40	2/40	3/40	4/40	5/40	6/40	7/40	8/40	9/40	10/40
x = 0.0	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000
0.1	·000000	·017323	·033881	·048994	·062129	·072926	·081193	·086882	·090051	·090831	·089403
0.2	·000000	·038727	·074400	·104815	·128916	·146574	·158201	·164448	·166015	·163569	·157709
0.3	·000000	·065550	·121968	·165161	·195405	·214653	·225014	·228275	·225851	·218840	·208102
0.4	·000000	·099309	·175060	·225131	·255706	·272345	·278869	·277844	·271030	·259681	·244718
0.5	·000000	·140791	·229093	·278872	·305677	·317840	·319963	·314811	·304173	·289276	·271004
0.6	·000000	·187703	·277641	·322325	·343970	·351646	·349911	·341400	·327789	·310219	·289509
0.7	·000000	·232858	·315798	·354223	·371211	·375281	·370622	·359653	·343917	·324465	·302060
0.8	·000000	·267861	·341843	·375210	·388840	·390434	·383822	·371240	·354125	·333465	·309976
0.9	·000000	·288561	·356349	·386696	·398410	·398620	·390933	·377470	·359605	·338290	·314216
x = 1.0	·000000	·295065	·360808	·390204	·401323	·401108	·393090	·379358	·361266	·339752	·315499

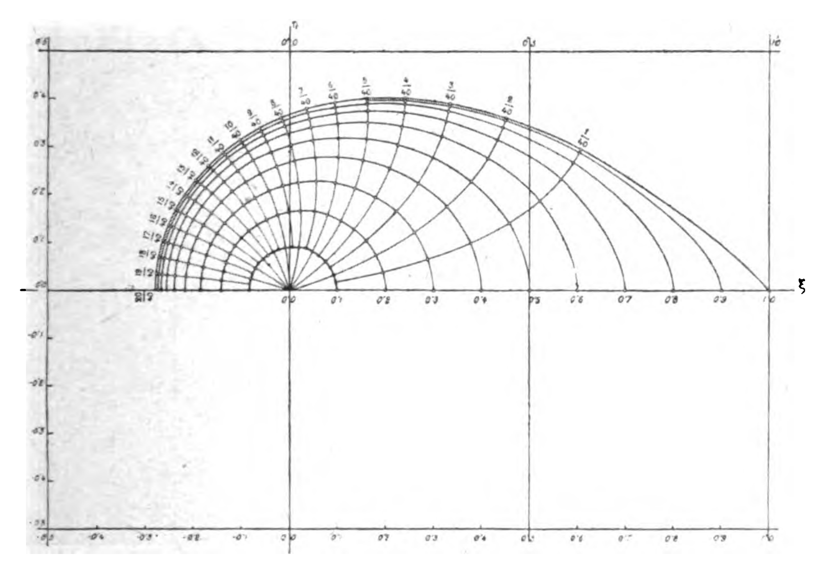
	10/40	11/40	12/40	13/40	14/40	15/40	16/40	17/40	18/40	19/40	20/40
x = 0.0	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000	·000000
0.1	·089403	·085972	·080755	·073971	·065837	·056563	·046353	·035403	·023904	·012043	·000000
0.2	·157709	·148959	·137776	·124557	·109649	·093357	·075956	·057696	·038807	·019505	·000000
0.3	·208102	·194317	·178032	·159696	·139868	·118320	·095878	·072607	·048732	·024463	·000000
0.4	·244718	·226840	·206596	·184423	·160682	·135679	·109676	·082903	·055572	·027876	·000000
0.5	·271004	·250020	·226838	·201868	·175444	·147850	·119329	·090096	·060345	·030256	·000000
0.6	·289509	·266273	·240987	·214030	·185716	·156306	·126028	·095083	·063652	·031904	·000000
0.7	·302060	·277272	·250544	·222235	·192637	·161999	·130535	·098436	·065875	·033012	·000000
0.8	·309976	·284199	·256557	·227393	·196985	·165573	·133363	·100540	·067270	·033707	·000000
0.9	·314216	·287907	·259775	·230151	·199310	·167483	·134875	·101664	·068015	·034078	·000000
x = 1.0	·315499	·289020	·260748	·230986	·200013	·168061	·135332	·102004	·068240	·034190	·000000

voi ; soit β le nombre d'appels reçus (après avoir été renvoyés par les places surchargées) par téléphoniste libre dans l'unité du temps. La probabilité de a appels en cours d'expédition ou en suspens dans un groupe est désignée par (a) ; a ne peut ainsi dépasser $x + V$. La probabilité pour qu'un temps d'attente dépasse une certaine limite est appelée S ; le temps moyen d'attente est appelé M. Consultez pour le reste les formules du ta-

TABLEAU 16.

Racines ($\alpha, \beta, \gamma \ldots$) de l'équation $\zeta e^{-\zeta} = k \alpha e^{-\alpha}$.

$k = \sqrt[x]{1}$; $\zeta = \xi + i\eta$; $x = 40$; $\alpha = 0{\cdot}1,\ 0{\cdot}2, \ldots\ldots\ 0{\cdot}9$.



bleau 11. En ce qui concerne l'emploi des formules, il est nécessaire de procéder de cette manière : on choisit une valeur pour β et on calcule B ; si la valeur calculée de B ne satisfait pas à l'équation

$$\beta = B. \frac{x}{1 - \alpha},$$

on prend une autre valeur pour β et on refait le calcul ; et ainsi de suite jusqu'à ce que ladite équation soit satisfaite ; cette

TABLEAU 17.

Délais d'attente moyens (Deux différentes hypothèses, T_0 et T_∞).

α \ x	1	2	4	5	8	10	20	40
0·1	·11111 ·05556	·01010 ·00621	·00022 ·00016	·00004 ·00003	·00000 ·00000	·00000 ·00000	·00000 ·00000	·00000 ·00000
0·2	·25000 ·12500	·04167 ·02423	·00299 ·00206	·00096 ·00069	·00004 ·00003	·00001 ·00001	·00000 ·00000	·00000 ·00000
0·3	·42857 ·21429	·09890 ·05526	·01323 ·00846	·00575 ·00386	·00063 ·00047	·00017 ·00013	·00000 ·00000	·00000 ·00000
0·4	·66667 ·33333	·1905 ·10331	·03779 ·02270	·01990 ·01243	·00385 ·00253	·00147 ·00105	·00002 ·00002	·00000 ·00000
0·5	1·00000 ·50000	·3333 ·17674	·08696 ·04965	·05215 ·03065	·01476 ·00932	·00722 ·00474	·00037 ·00028	·00000 ·00000
0·6	1·50000 ·75000	·5625 ·29304	·1794 ·09838	·1181 ·06607	·04361 ·02570	·02532 ·01535	·00302 ·00204	·00012 ·00009
0·7	2·33333 1·16667	·9608 ·49361	·3572 ·18971	·2519 ·13552	·1128 ·06268	·07391 ·04187	·01559 ·00954	·00181 ·00124
0·8	4·00000 2·00000	1·7778 ·90328	·7456 ·38609	·5541 ·28906	·2860 ·15195	·2046 ·10983	·06402 ·03588	·01515 ·00907
0·9	9·00000 4·50000	4·2632 2·14692	1·9695 ·99997	1·5250 ·77670	·8769 ·44997	·6687 ·34458	·2754 ·14429	·10288 ·05529

relation exprime que le nombre total d'appels renvoyés est égal au nombre total d'appels « reçus ». Dans cette théorie, nous avons supposé que le nombre total des opératrices est grand : nous n'avons pas pris en considération le temps nécessaire pour l'observation des signaux, pour le renvoi et pour le mouvement des chercheurs; on peut, pour en tenir compte, si on le juge utile, introduire des corrections dans les formules.

c) Nous allons maintenant examiner quelques systèmes où la répartition se fait d'une manière tout à fait automatique, sans le concours des opératrices ; ici, toute assistance de la part des voisines est exclue. Dans ce système comme dans le précédent, on peut s'arranger de plusieurs manières. On peut tolérer à chaque place 0, 1, 2,... appels en suspens. Nous nous servons à peu près des mêmes désignations qu'auparavant ; nous appelons α_1 le nombre d'appels arrivant dans l'unité de temps à une des places non entièrement chargée; α_1 est, on le comprend facilement, supérieur à α. Voyez le tableau 12. Il va sans dire qu'ici (comme dans le cas précédent) la théorie suppose qu'il n'y a pas d'autres causes de délai d'attente que celle de la surcharge des opératrices (par exemple : absence de cordons).

*
* *

Il serait facile d'énumérer beaucoup de questions semblables que le calcul des probabilités peut déjà ou pourra à l'avenir éclaircir, et, par là, contribuer à une utilisation qui ira toujours s'améliorant, soit des hommes, soit des machines et jonctions. Les difficultés sont grandes, il est vrai; mais il ne faut pas que cela décourage ; il en est de même dans beaucoup d'autres domaines qui, par l'application de cette science, deviennent de plus en plus accessibles à l'intelligence. On peut citer la théorie des mesures et des dénombrements, théorie de la statistique, les sciences de la mortalité, de l'hérédité, ou des mouvements et chocs des molécules et des électrons. Dans tous ces domaines, il y a, on le sait, nombre de problèmes importants qui n'ont pas

encore trouvé leur solution ou qui ne sont pas même encore posés. Il en est de même de la théorie sur le trafic téléphonique (1).

---

(1) *Note de la Rédaction.* — M. A.-K. Erlang, auteur de l'article qu'on vient de lire, est assistant scientifique de la Compagnie de téléphone de Copenhague. Il est cand. mag., c'est-à-dire maître ès sciences. Ancien élève de l'université de Copenhague, il profita des cours de P. O. Pedersen à l'École polytechnique ; il y fait maintenant des conférences sur la probabilité et le téléphone. On sait qu'il est l'auteur de la formule fondamentale de cette théorie. Il est aussi versé dans les questions théoriques que dans la pratique du laboratoire. Il a publié en danois une théorie élémentaire des lignes de communication, de la bobine d'induction de l'appareil téléphonique avec batterie centrale, et d'un appareil de compensation pour les mesures de transmission et d'impédance.

ÉLIMINATION RADICALE DES PARASITES EN T. S. F. PAR LE SYSTÈME BAUDOT-VERDAN,

Par E. MONTORIOL,
Inspecteur des Postes et Télégraphes.

On sait quelles perturbations les parasites atmosphériques apportent dans l'exploitation des communications radiotélégraphiques : risques permanents d'erreurs, répétitions, et même parfois impossibilité absolue de correspondre.

Une foule de moyens ont été proposés pour leur élimination : filtres à bandes très serrées, résonances suraiguës, etc... : mais, malgré l'ingéniosité de certains de ces dispositifs, aucun ne résout le problème, et les parasites continuent à atteindre les récepteurs, soit parce que leur fréquence est suffisamment voisine de celle qu'on désire recevoir, soit parce que leur violence leur permet de franchir les obstacles dressés sur leur passage, soit pour toute autre cause. L'essor même de la T. S. F. se trouvait gravement entravé par l'impossibilité, complète jusqu'à ce jour, où l'on se trouvait d'assurer aux communications sans fil la même stabilité et la même sécurité qu'à celles avec fil.

Ce problème paraissait insoluble puisqu'on ne pouvait rien sur la cause et que les effets eux-mêmes restaient incoercibles; il est cependant aujourd'hui complètement résolu, grâce au système imaginé par M. Verdan, sous-ingénieur, et qui, construit sous la direction du Service d'études et de recherches techniques, vient d'être expérimenté avec plein succès entre Nice et Ajaccio.

Principe. — Abandonnant complètement la recherche d'une élimination *électrique*, qui ne pouvait être qu'un palliatif, M. Verdan eut l'ingénieuse idée de recourir, pour cet objet, à

un procédé *mécanique*; son dispositif ne constitue, en réalité, qu'une addition au baudot ordinaire, auquel il se juxtapose, pour ainsi dire, instantanément.

Le principe du système peut se résumer ainsi : chaque signal, en même temps qu'il est envoyé par le distributeur dans l'antenne de T. S. F., est emmagasiné par un groupe d'électro-aimants, pour être répété automatiquement après trois révolutions des balais ; un nouvel emmagasinement a lieu en même temps que cette répétition, et enfin le signal est confirmé trois tours plus tard.

A l'arrivée, la combinaison émise au premier tour des balais est emmagasinée dans un premier groupe d'électro-aimants, dont les armatures, lorsqu'elles sont actionnées, préparent la réception dans un second groupe d'emmagasineurs ; au quatrième tour, la première répétition est reçue dans ce second groupe et il en résulte la liaison des électro-aimants aiguilleurs du traducteur avec les contacts convenables du distributeur; la confirmation, lors du septième tour des balais, est reçue et traduite à la façon ordinaire.

Si un parasite se manifeste au premier tour des balais du distributeur et pendant leur passage sur le secteur de transmission, deux cas sont à envisager: ou bien il se superpose à des courants de travail et passe inaperçu, ou bien il se présente entre deux émissions et, au poste d'arrivée, actionne intempestivement un ou plusieurs emmagasineurs ; la combinaison reçue à ce moment est alors tronquée. Pour qu'elle reste telle, il faut qu'au quatrième tour, lorsqu'est reçue la première répétition de cette combinaison, un nouveau parasite se produise *exactement sur le ou les contacts correspondants*. Dans le cas où le hasard le veut ainsi, il n'y a encore aucun dommage, et la fausse lettre n'apparaîtra sur la bande du traducteur que si, au septième tour, un troisième parasite arrive au moment précis qui convient. L'expérience a démontré péremptoirement que ce jeu de probabilités donne une sécurité absolue, et que les parasites emmagasinés au premier tour et même confirmés au quatrième sont toujours effacés au septième. D'autre part, on verra plus loin que

ceux qui se manifestent lors des répétitions sont sans effet s'ils n'ont pas été enregistrés au premier tour, car, dans ce cas, les contacts sur lesquels ils tombent correspondent à des emmagasineurs isolés, et ils ne trouvent aucune issue dans le récepteur. Cette circonstance favorable augmente considérablement la sécurité donnée par « le jeu de probabilités » indiqué plus haut.

Electro-emmagasineurs. — On vient de voir que le système est essentiellement basé sur l'emmagasinement des si-

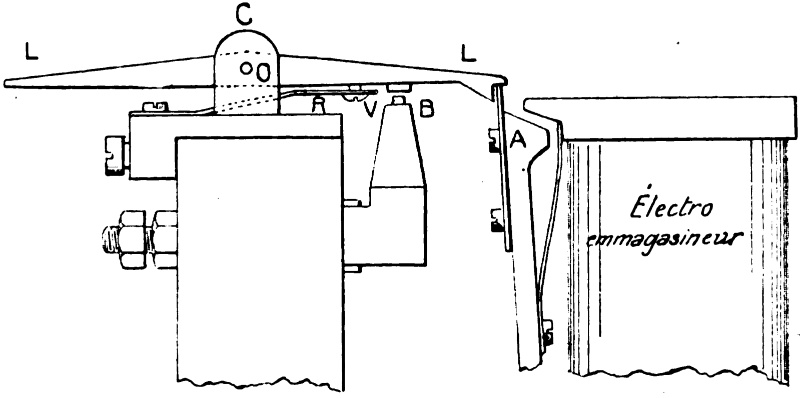


Fig. 1. — Emmagasineur.

gnaux : au départ pour provoquer leur confirmation, à l'arrivée pour ouvrir progressivement le chemin conduisant au traducteur, au fur et à mesure que s'opère la sélection entre les courants de travail et les parasites.

Chaque emmagasineur comprend un électro-aimant (qui, dans l'espèce, est un électro-aiguilleur de traducteur du modèle de 1881), dont l'armature, A (fig. 1), soutient, au repos, un levier, LL′, articulé sur une chape en laiton, C, et susceptible de basculer autour du point O, sous l'action d'un ressort en lame, R; celui-ci est fixé, par l'une de ses extrémités, au support métallique de la chape; l'autre extrémité taillée en fourchette, s'engage sous la tête d'une vis, V, portée par le levier LL′. Dès qu'un courant parcourt l'enroulement de l'électro-aimant, l'armature, attirée, libère le levier, qui tombe sous

l'action de son ressort, et l'extrémité L′ vient s'appuyer sur une butée, B, munie d'un petit canon de molybdène : un contact électrique est ainsi établi entre la chape et la butée, l'une et l'autre étant connectées comme il sera dit plus loin.

On voit que le contact subsistera tant qu'on ne rappellera pas mécaniquement le levier LL′ à sa position de repos. A cet effet, les emmagasineurs sont rangés circulairement, comme le montre la photographie ci-contre (fig. 2) ; au centre de la couronne ainsi formée se trouve un axe vertical, animé d'un mouvement de rotation continu et isochrone ; enfin un bras horizontal, entraîné par l'axe, porte, à son extrémité, un petit galet en ébonite ; celui-ci, en tournant, vient rencontrer l'extrémité L des leviers emmagasineurs tombés sur travail et l'oblige à s'abaisser : il en résulte le relèvement de l'extrémité L′ ; l'armature, A, de l'électro-aimant peut alors revenir en arrière et caler de nouveau le levier : l'emmagasinement est ainsi effacé.

Transmission. — Les essais ont eu lieu à l'aide d'un distributeur triple ordinaire, ne permettant la transmission que dans un seul sens. Pour obtenir une communication bi-latérale, il aurait suffi d'employer un distributeur sextuple. L'inventeur envisageant déjà des modifications, suggérées par cette première expérience, il semble préférable de décrire purement et simplement l'appareil d'essai, quitte à indiquer plus tard ces modifications, lorsqu'elles revêtiront un caractère définitif.

Le distributeur d'essai comprend deux plateaux. L'un, A (fig. 3), monté sur la face antérieure de la cage, est un plateau Baudot triple ordinaire, à 17 contacts, ses balais tournent à la vitesse normale de 180 tours par minute. L'autre plateau, B, placé sur la face postérieure et visible sur la photographie d'ensemble (fig. 2), est virtuellement divisé en 51 parties (17 × 3) ; sa couronne extérieure comprend trois sections formées chacune de 15 contacts de 1/51 chacun et d'un contact complémentaire de 2/51. Ses balais tournent trois fois moins vite que ceux du plateau d'avant (60 tours par minute), de sorte que, lorsque le balai antérieur a fait un tour entier, le balai postérieur n'a fait

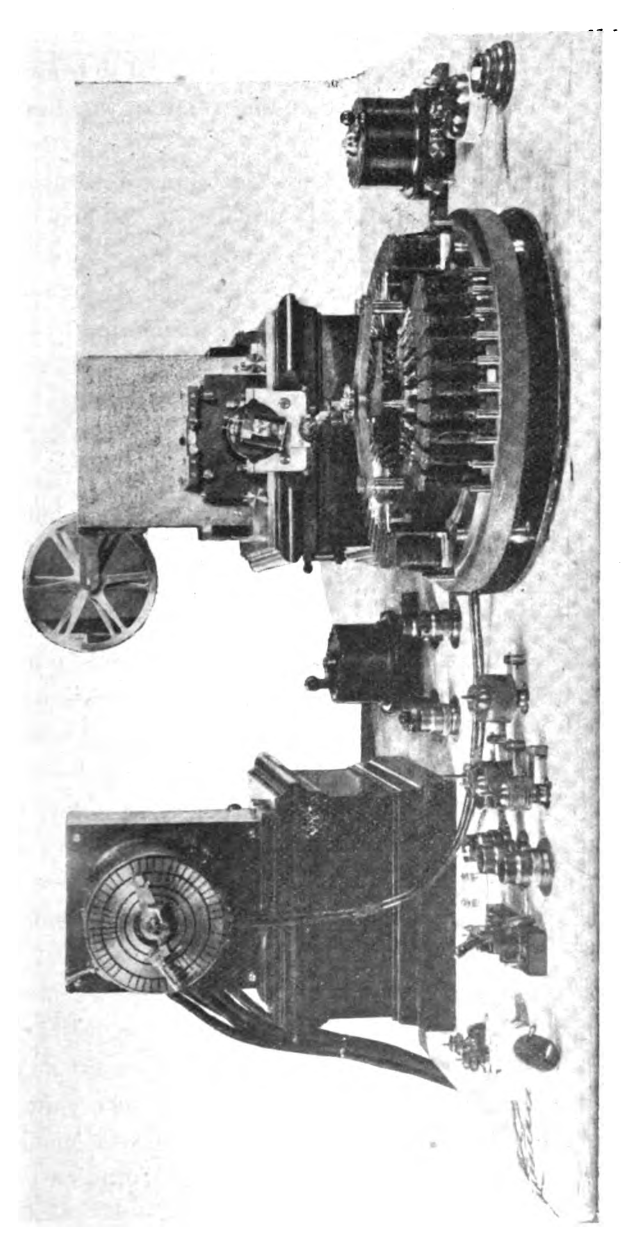


Fig. 2.

qu'un tiers de sa course; mais il a parcouru, néanmoins, autant de contacts que le premier; en d'autres termes, si l'on envisage le parcours d'une section du plateau postérieur, il se trouve que les deux balais sont toujours, au même instant, sur des contacts de même numéro.

La figure 3 montre l'agencement électrique de l'ensemble; on y a répété trois fois les contacts du plateau A, pour mieux faire ressortir leur concordance avec ceux de chacune des trois sections du plateau B. Sur la deuxième couronne A, les contacts de 1 à 10 sont reliés à la pile de travail, de même que le 16, qui envoie le courant de correction; ceux de 11 à 15 (troisième secteur) communiquent avec les touches du manipulateur. La cinquième couronne A est reliée à la troisième B à travers les bobines du relais transmetteur, R, dont le massif commande l'émetteur d'ondes hertziennes. Sur la première B, dans chaque section, les contacts de 11 à 15 sont rattachés chacun à l'entrée du circuit d'un électro-emmagasineur, dont la sortie est à la terre. Les leviers de ces électro-aimants commandés par les armatures, sont reliés aux cinq contacts du secteur précédent, tandis que leurs butées communiquent avec les entrées des emmagasineurs de l'autre groupe; enfin les armatures de celui-ci peuvent mettre les cinq premiers contacts de la section en relation avec les électro-aiguilleurs du traducteur de contrôle. Il y a, au total, trente électro-emmagasineurs, formant six groupes de cinq, à raison de deux groupes par section du plateau B.

Il importe de remarquer que, pour qu'un emmagasineur du groupe 1, par exemple, puisse recevoir un courant, il est indispensable que l'emmagasineur correspondant du groupe 2 ait été préalablement excité : si l'armature de ce dernier est restée au repos, l'emmagasineur du groupe 1 est isolé. Il en est de même des électro-aimants du traducteur par rapport aux emmagasineurs du premier groupe de chaque section. C'est là, comme on le verra plus loin, la base même du système d'élimination des parasites.

Supposons qu'on veuille transmettre le mot Marseille; le tableau ci-dessous indique comment les différentes lettres seront émises, répétées et confirmées :

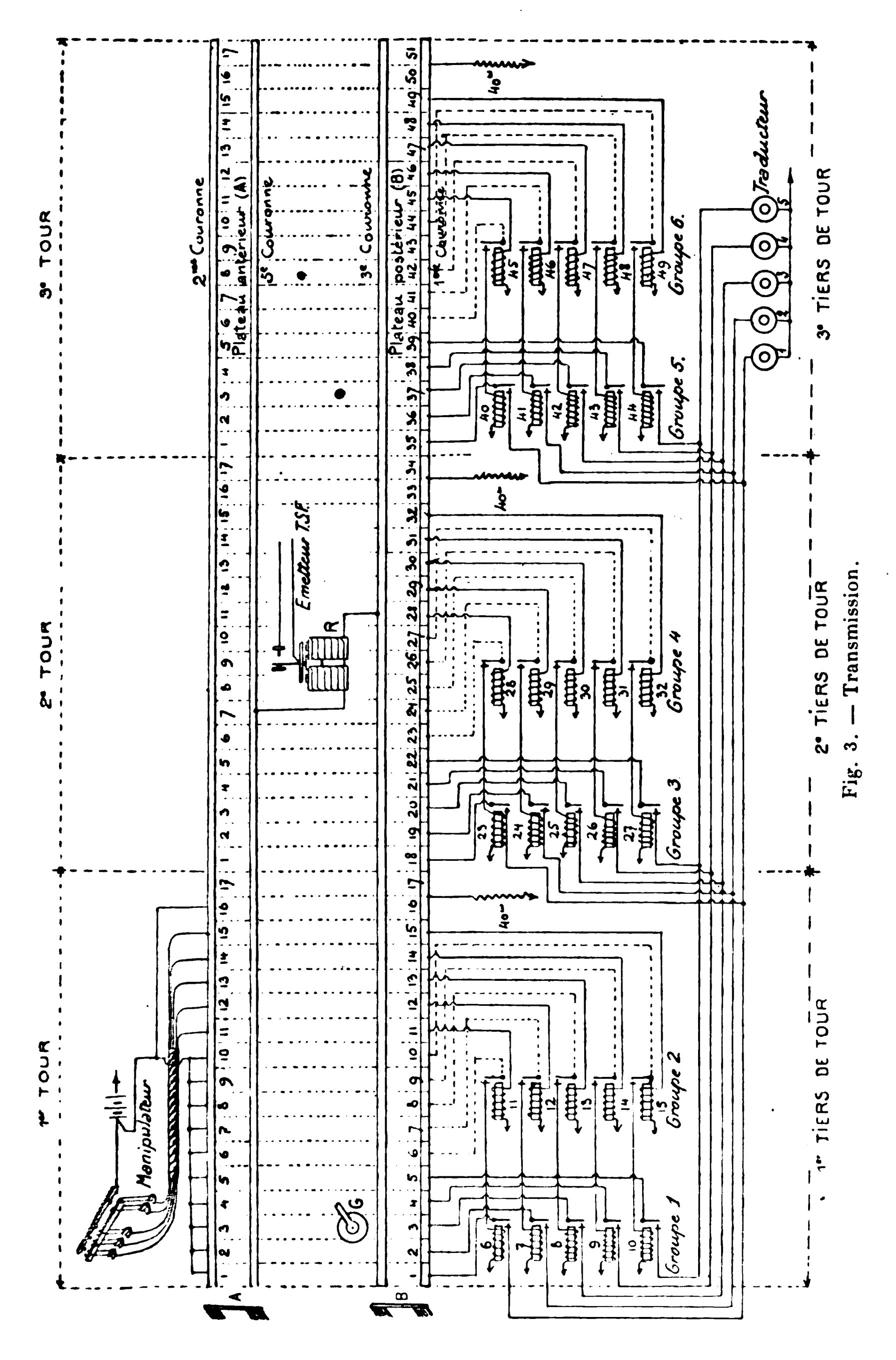


Fig. 3. — Transmission.

	Tours des balais du plateau A									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1re émission (secteur 3)........	M	A	R	S	E	I	L	L	E	blanc
Répétition (secteur 2)........	»	»	»	M	A	R	S	E	I	L
Confirmation et traduction (secteur 1).	»	»	»	»	»	»	M	A	R	S

Voici comment ces fonctions vont s'accomplir :

Premier tour. — Tant que les balais du plateau A se trouvent sur les contacts de 1 à 10, il ne se passe rien, puisqu'à ce moment tous les emmagasineurs sont au repos. Sur le troisième secteur, l'abaissement des touches 2, 4 et 5 pour former la lettre M, a eu pour effet de relier les contacts 12, 14 et 15 à la pile de travail : lors du passage du balai sur le contact 12, un courant, passant dans la cinquième couronne, parcourt les bobines du relais R, arrive à la troisième couronne B, passe par les balais dans le contact 12 de B, et de là va à la terre à travers l'emmagasineur 12. Le relais, venu sur travail, excite l'émetteur de T. S. F., et un train d'ondes est rayonné par l'antenne. Au passage des balais A sur les contacts 14 et 15, le circuit de la pile est de nouveau fermé et, en même temps qu'un autre train d'ondes est transmis dans l'espace, les emmagasineurs 14 et 15 sont actionnés. Le balai A passant ensuite sur le contact 16, un courant de correction est émis, grâce à une résistance de 40 ohms (égale à celle d'un emmagasineur) qui donne la terre au contact 16/17 du plateau B.

On voit donc qu'après le passage des balais sur le troisième secteur la lettre M est emmagasinée dans le groupe 2 ; les armatures des électro-aimants 12, 14 et 15 étant déplacées, leurs leviers respectifs ont basculé (voy. fig. 1) et ont mis les contacts 7, 9 et 10 de B en communication avec les emmagasineurs de mêmes numéros : la combinaison est prête pour la première répétition, qui aura lieu au tour suivant du balai B, c'est-à-dire au quatrième tour du balai A, comme on le verra ci-après.

Deuxième et troisième tours. — Rien sur les deux premiers secteurs; la lettre A, puis la lettre R sont transmises par le relais et emmagasinées respectivement dans le groupe 4 (armature 28 actionnée) et dans le groupe 6 (armatures 47, 48, 49).

Quatrième tour. — Rien sur le premier secteur; la combinaison M étant emmagasinée dans le groupe 2, la pile de travail, sur le second secteur, trouve une issue, à travers le relais, par les contacts 7, 9 et 10, les armatures des emmagasineurs 12, 14 et 15 et enfin les bobines des emmagasineurs 7, 9 et 10 : la combinaison M, répétée par le relais dans l'antenne, est emmagasinée dans le groupe 1. Aussitôt, le galet G (voy. aussi fig. 2), qui tourne à la même vitesse que le balai du plateau B mais se trouve un peu en avance sur celui-ci, rencontre les leviers des emmagasineurs du deuxième groupe et ramène au repos ceux qui se trouvaient déplacés : la combinaison M est effacée du groupe 2, qui va immédiatement emmagasiner la lettre S, transmise, sur le plateau A, par les contacts 13 et 15.

Cinquième tour. — Répétition de la lettre A, sur le secteur 2 du plateau antérieur, emmagasinement dans le groupe 3 par l'armature 28 et la bobine 23, effacement de la combinaison A dans le groupe 4 et nouvel emmagasinement de la lettre E, transmise aussitôt après sur le secteur 3 du plateau A.

Sixième tour. — Répétition de R sur le secteur 2 du plateau A, emmagasinement de cette combinaison dans le groupe 5 et de la lettre I sur le secteur 3 et le groupe 6.

Septième tour. — La combinaison M, emmagasinée dans le groupe 1 (leviers 7, 9 et 10 déplacés) met les contacts 2, 4 et 5 du plateau B en communication avec les électro-aiguilleurs correspondants (2, 4 et 5) du traducteur de contrôle : lorsque les balais parcourent le premier secteur, la lettre M est confirmée dans l'antenne par le relais transmetteur et, en même temps, traduite sur la bande de contrôle. Sur le secteur 2, la lettre S est répétée par le groupe 2 et emmagasinée dans le groupe 1 ; enfin, sur le secteur 3, la lettre L est transmise et emmagasinée dans le groupe 2.

Huitième tour. — Confirmation et traduction de la lettre A,

répétition de la lettre E et transmission de la seconde lettre L; les nouveaux emmagasinements ont lieu sur les groupes 3 et 4.

Et ainsi de suite.

Réception. — Les signaux ainsi transmis sont reçus, à l'autre poste, dans un amplificateur qui actionne, à la façon ordinaire, un relais R (fig. 4). Le distributeur comprend, comme au départ, deux plateaux : l'un, antérieur, A, triple Baudot à 17 contacts ; l'autre, postérieur, B, à 51 contacts, et dont les balais tournent, de même, trois fois moins vite que ceux du premier.

Le massif du relais R est relié à la quatrième couronne du plateau A ; le contact mobile de la première couronne communique, comme dans toutes les installations Baudot, avec l'électro-correcteur, tandis que les quinze contacts écourtés sont connectés ensemble et à la troisième couronne du plateau B. Ce dernier est agencé d'une façon identique à celui de transmission ; les emmagasineurs sont, de même, rangés en couronne, et les leviers déplacés sont rappelés par un galet, G, qui précède d'un angle convenable le balai de la première couronne B, ainsi qu'il a été dit pour le poste de départ.

Aux trois premiers tours, les lettres M, A et R sont reçues sur le troisième secteur de A et emmagasinées respectivement dans les groupes 2, 4 et 6, c'est-à-dire dans les électros 12-14-15, 28, 47-48-49.

Au quatrième tour, la combinaison M est reçue une seconde fois, mais sur le secteur 2, emmagasinée dans le groupe 1, effacée du groupe 2, qui emmagasine aussitôt la lettre S, reçue sur le troisième secteur. Il en est de même aux cinquième et sixième tours, de la répétition de A et R, dans les groupes 3 et 5, et de la première réception de E et I dans les groupes 4 et 6.

Au septième tour, la confirmation de M arrive sur le secteur 1 et, par les armatures des emmagasineurs 7, 9 et 10, va dans les électro-aiguilleurs 2, 4 et 5 du traducteur ; sur le deuxième secteur, la répétition de la lettre S va dans le groupe 1 et la lettre L, reçue sur le troisième secteur, dans le groupe 2.

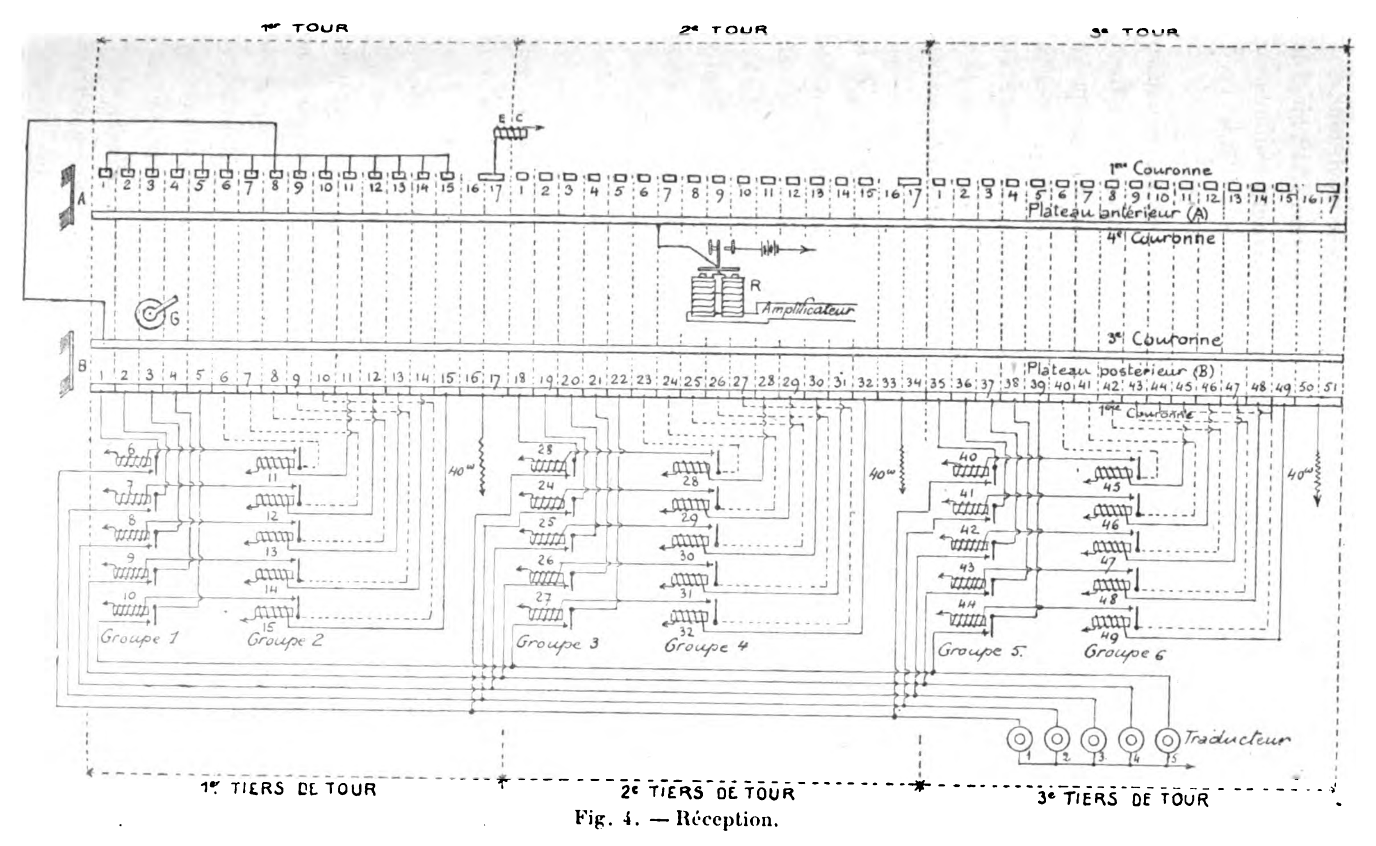


Fig. 4. — Réception.

Au huitième tour, la lettre A est confirmée et traduite, la lettre E répétée et le second L reçu dans le groupe 4. Et ainsi de suite. En un mot, les choses se passent exactement comme pour la transmission.

Élimination des parasites. — Supposons qu'au deuxième tour, lors de la réception, sur le troisième secteur, de la lettre A (un courant de travail sur le contact 11 et rien sur les quatre autres), supposons, disons-nous, qu'un parasite mette le relais sur travail au moment où le balai se trouve sur le contact 14 : l'emmagasineur 31 est excité intempestivement et le groupe 4 emmagasine la combinaison J (leviers 28 et 31 déplacés) au lieu de A (28 seul).

Admettons maintenant qu'au cinquième tour, lorsque le balai antérieur parcourt le deuxième secteur, un autre parasite se manifeste : s'il tombe au moment où le balai est sur le contact 6, il ne se produit rien, puisque le relais est déjà sur travail, sous l'action du courant d'émission ; si le balai se trouve sur l'un des contacts 7, 8 ou 10, il ne se produit rien non plus, bien que le relais soit mis à tort sur travail, car les emmagasineurs 24, 25 et 27, qui correspondent à ces contacts, sont isolés ; seuls les 23 et 26 sont accessibles aux courants du relais, par suite de l'abaissement des armatures 28 et 31, comme il vient d'être dit. Pour que la combinaison J, emmagasinée à la place de A dans le groupe 4, soit reproduite dans le groupe 3, il faut que le parasite tombe *exactement sur le contact 26*.

Il y a déjà des chances pour que cette coïncidence précise ne se produise pas : dans cette hypothèse, toute trace du parasite disparaît, car le levier 31 est, dans tous les cas, ramené au repos en même temps que le 28. Si, cependant, l'emmagasineur 26 a pu être excité, ouvrant ainsi le passage dans le quatrième électro-aiguilleur, celui-ci ne sera finalement actionné que si, au septième tour, un troisième parasite vient mettre le relais sur travail *précisément au moment du passage du balai sur le contact 1*. Les essais ont démontré que ce hasard extraordinaire est tout à fait improbable.

On voit donc :

1° que tous les parasites sont emmagasinés, à l'égal des courants de travail, lorsqu'ils se produisent pendant le passage du balai antérieur sur le secteur 3 : c'est le cas de la réception sur un baudot ordinaire ;

2° que les parasites qui se manifestent sur le second secteur de A ne peuvent atteindre les emmagasineurs que si ceux des autres groupes qui correspondent au troisième secteur ont déjà été excités trois tours auparavant ; ils passent inaperçus s'ils tombent sur des contacts isolés ; de même, la fermeture du circuit des électro-aiguilleurs du traducteur est subordonnée à celle, préalable, des emmagasineurs du premier groupe de chaque section ;

3° que la grande probabilité de non-confirmation, au quatrième et au septième tours, cesserait dans le cas où un parasite aurait une durée supérieure à deux secondes, intervalle qui sépare la première émission d'un signal de sa dernière confirmation. Ce cas, heureusement, doit être extrêmement rare, puisqu'il ne semble pas s'être produit pendant les essais. Si, d'ailleurs, il était démontré qu'il n'en est pas ainsi, le système n'en conserverait pas moins sa valeur, car il suffirait d'espacer davantage les trois répétitions du même signal pour échapper à ce cas particulier.

Ces différents points sont démontrés par une expérience extrêmement curieuse, faite au cours des essais : on a demandé à Ajaccio de transmettre, en permanence, la lettre G (celle-ci s'obtient par l'envoi d'un courant sur les deuxième et quatrième contacts, laissant les premier, troisième et cinquième exposés à l'action des parasites, qui étaient nombreux ce jour-là) ; cette combinaison étant, malgré cela, reçue correctement au poste de Cros-de-Cagnes, on a envoyé, *simultanément*, dans le Baudot-Verdan, une transmission automatique Morse. Le Baudot-Verdan avait donc à éliminer un double brouillage, superposition des parasites naturels et de la transmission Morse : or, sur 1.710 « G », 13 seulement ont été altérés, soit 0,76 %. On peut donc dire que le Baudot-Verdan fonctionnerait correctement là où tout autre appareil serait réduit à l'impuissance.

La réception a été ensuite transférée à Nice-Central : le relais de l'amplificateur de Cros-de-Cagnes retransmettait, sur une ligne aérienne de 12 kilomètres, les signaux reçus d'Ajaccio, y compris les parasites. Pour mesurer, d'une façon différente, mais absolument probante, l'efficacité du système Baudot-Verdan, le relais de réception de Nice actionnait, en même temps que ce dernier système, un baudot triple ordinaire, de sorte que les signaux reçus étaient imprimés à la fois par les deux appareils : il suffisait donc de confronter les deux bandes pour voir combien de parasites avaient été éliminés par le Baudot-Verdan. Or, tandis que la bande de celui-ci était irréprochable, celle du baudot ordinaire était, par endroits, *absolument indéchiffrable* ; les parasites auraient rendu radicalement impossible, à ce moment, tout service avec un appareil autre que le Baudot-Verdan.

Conclusion. — En présence de ces remarquables résultats, on peut dire que le Baudot-Verdan est appelé à révolutionner l'exploitation des communications radio-télégraphiques, en leur assurant un rendement, une régularité, une stabilité qui leur ont fait défaut jusqu'à ce jour.

En ce qui concerne le rendement, on peut objecter, il est vrai, que les trois répétitions des signaux le réduisent à un tiers de la capacité de l'appareil, c'est-à-dire qu'il faudra un distributeur sextuple pour obtenir deux transmissions, soit l'équivalent d'un double Baudot. Il convient cependant de remarquer que, dans les périodes où les parasites seront assez peu nombreux pour devenir négligeables, on pourra employer le sextuple à la façon ordinaire, c'est-à-dire avec sa capacité totale de rendement. Dans celles où le fonctionnement deviendrait précaire, on répétera les signaux une seule fois, et on aura un triple ; enfin, dans les périodes agitées, *lorsqu'aucun autre appareil ne pourrait fonctionner*, on confirmera deux fois et on disposera encore de deux secteurs, fournissant ensemble soixante mots *corrects* par minute. Avec la transmission automatique et une vitesse plus grande, deux cent dix tours, par exemple, on atteindrait facilement soixante-dix mots.

En l'état actuel, d'ailleurs, ce chiffre, strict minimum pour le Baudot-Verdan, n'est jamais atteint avec les transmetteurs automatiques en usage en T. S. F. et *par des temps favorables*. En effet, comme il a été dit au début de cet article, les systèmes anti-parasites connus jusqu'à ce jour sont seulement des palliatifs; les inévitables déformations des signaux constituent un danger permanent d'erreurs et l'agent réceptionnaire est contraint de provoquer la répétition de tout mot douteux; le danger est encore plus grand lorsque les télégrammes sont rédigés en langage secret et, trop souvent, malgré l'attention soutenue apportée par les opérateurs, c'est le destinataire lui-même qui demande, par avis de service, une nouvelle transmission d'un texte qui lui est parvenu inintelligible. Outre les retards considérables qui en résultent, ces répétitions abaissent à un taux dérisoire le rendement commercial des stations, c'est-à-dire le nombre de mots échangés *correctement* dans un temps donné : il n'est pas rare de voir des vitesses théoriques de transmission de cent mots par minute, annoncées par certaines grandes stations, ne donner, en réalité, qu'un rendement pratique et réel de vingt mots par minute dans les périodes moyennes, et même avoisiner zéro dans les moments troublés.

En d'autres termes, lorsque les autres systèmes ne pourront pas fonctionner, le Baudot-Verdan donnera soixante-dix mots par minute ; lorsqu'ils écouleront péniblement vingt ou vingt-cinq mots, le Baudot-Verdan, avec une seule répétition, en recevra nettement plus de cent. Sans aller même jusqu'à la suppression de toute répétition, dans les périodes exceptionnellement calmes, on voit quelle large marge fournira le nouveau système. Le rendement étant ainsi amélioré, l'exploitation deviendra moins onéreuse, d'où possibilité d'un abaissement notable des taxes : cela, ajouté à la sécurité et à la rapidité plus grandes, ne manquera pas d'attirer l'attention du public et de valoir à la T. S. F. un afflux de trafic qu'elle n'a encore jamais connu.

Au point de vue purement national, la T. S. F., devenue stable et sûre, arrivera peu à peu à remplacer les câbles sous-

marins, dans les relations de la France avec ses colonies. On ne perdra pas de vue, en effet, que la plupart de celles-ci ne sont reliées à la métropole que par des câbles étrangers ; cette situation, onéreuse en tout temps, pourrait devenir dangereuse en cas de guerre. En vue de cette dernière éventualité, M. Verdan étudie un moyen de se protéger contre tout brouillage, voire contre un trait continu, fait par l'ennemi et sur la même longueur d'onde que celle employée à la transmission. Il serait évidemment prématuré de parler aujourd'hui de ce point particulier.

Il reste au passif de la T. S. F. l'absence du secret des correspondances : il serait superflu d'insister sur les conséquences commerciales de cette lacune et sur la défiance qu'elle inspire au public. Le seul remède consiste à employer un code conventionnel. Mais les codes commerciaux sont peu nombreux et doivent être indiqués : avec les transmissions actuelles, utilisant les signaux Morse, il est toujours loisible au premier venu de capter au passage les télégrammes, même transmis à grande vitesse; et la crainte que cette réception clandestine, facile à traduire, puisse servir à un concurrent, incite beaucoup de commerçants à s'abstenir, surtout dans les cas importants, les opérations de bourse, par exemple. Il convient de remarquer que le baudot rend la captation sinon impossible, tout au moins extrêmement difficile, pour un tiers non qualifié : non seulement, il faut qu'il dispose d'une installation Baudot-Verdan, ce qui entraîne une dépense assez considérable et un poste compliqué, toutes choses qui sortent sensiblement du domaine du simple amateur, mais il faut encore que ses appareils soient réglés sur l'installation qui transmet, que ses balais tournent rigoureusement à la même vitesse, et qu'enfin il arrive à distinguer, parmi la cinquantaine d'émissions qui, dans une seconde, parcourent l'éther, celle qui maintient le synchronisme, sans lequel aucune réception n'est possible. Ces deux dernières conditions, à elles seules, sont de nature à rebuter l'espion-amateur, et il lui faudrait vraiment la certitude d'un avantage considérable pour le décider à tenter de surmonter les énormes difficultés qu'elles présentent.

Malgré cela, M. Verdan songe à un genre de brouillage des combinaisons, suivant une ou plusieurs « clés » convenues à l'avance, avec redressement *automatique* au poste de réception, de sorte que celui-ci, seul, aurait la traduction des signaux transmis. La merveilleuse souplesse du baudot rend parfaitement possible cette nouvelle adaptation et, d'autre part, le jeune inventeur vient de donner une trop belle preuve de son ingéniosité pour que, là encore, nous n'attendions pas avec confiance le résultat de ses nouvelles recherches.

SUR L'APPLICATION DES THERMO-COUPLES
A LA MESURE DES COURANTS ALTERNATIFS
DE FRÉQUENCE MUSICALE,

Par P. CHAVASSE,
Ingénieur des Postes et Télégraphes.

Les courants sinusoïdaux de fréquence musicale ne sont plus exclusivement l'objet des études de laboratoire : ils ont acquis droit de cité dans la technique moderne depuis que l'analyse de la voix humaine a mis en évidence la place qu'ils occupent en téléphonie, depuis aussi le développement croissant de la téléphonie multiplex par courants porteurs de fréquence musicale ou de haute fréquence qui permet d'augmenter dans une très forte proportion le rendement des circuits télégraphiques. Or l'essor des communications à distance toujours plus grande a été rendu possible par le haut degré de perfection atteint par la théorie de la propagation des ondes sinusoïdales et par les méthodes et instruments de mesure qui sont le complément indispensable de cette théorie. L'objet de la présente étude est d'appeler l'attention sur l'un des moyens d'investigation pratiques les plus familiers aux ingénieurs des téléphones pour les recherches qu'ils ont à effectuer sur les lignes et appareils téléphoniques.

Les thermo-couples, utilisés dès longtemps pour la détermination des températures industrielles, ont également trouvé depuis Dudell un champ d'application assez vaste en électricité. Moyennant quelques précautions qu'il y a lieu de prendre dans leur constitution et leur mise en œuvre, les thermo-couples permettent de réaliser des instruments d'une très bonne précision et d'une sensibilité extrême pour la mesure de l'intensité des très petits courants alternatifs.

Généralités.

Les progrès de la technique téléphonique exigent fréquemment la détermination précise de l'intensité des courants alternatifs. La mesure absolue de l'affaiblissement d'un long circuit téléphonique nécessite, par exemple, la connaissance des intensités I_1 et I_2 aux deux extrémités du circuit, l'une de ses extrémités étant connectée à une source de courant alternatif et l'autre étant fermée sur une impédance égale à son impédance caractéristique. L'étude de certains appareils doués de self-induction et constitués par des substances dont la perméabilité est fonction du champ inducteur conduit également à préciser la grandeur du courant qui les traverse : tel est, en particulier le cas des transformateurs à noyau de fer, des relais, des bobines Pupin. De même, le rendement intrinsèque d'un microphone ou d'un récepteur résulte de la comparaison des valeurs des énergies respectivement émises et reçues sous les deux formes acoustique et électrique, c'est-à-dire que la détermination du courant débité par le microphone ou alimentant le récepteur est un élément indispensable du calcul.

Cette détermination, qui ne présente aucune difficulté pour les courants industriels de fréquence basse (16 à 50 périodes par seconde) et relativement intenses, devient au contraire particulièrement délicate quand il s'agit des courants téléphoniques, dont la fréquence est comprise entre 200 et 4.000 périodes par seconde et dont l'intensité est souvent inférieure à un milliampère.

La mesure absolue des faibles courants de fréquence musicale est pratiquement impossible, et il est nécessaire de se borner à des mesures relatives qui doivent pouvoir s'effectuer simplement au moyen d'appareils dont le fonctionnement est dans de larges limites indépendant de la fréquence : les uns, à lecture directe, sont étalonnés seulement à de rares intervalles ; les autres donnent au contraire des indications du type galvanométrique évaluées en unités arbitraires et dont il faut à chaque instant déterminer, par comparaison, la vraie valeur à l'aide de cou-

rants que l'on sait mesurer par les moyens ordinaires. L'emploi des courants continus conduit en particulier aux résultats les plus exacts dans les plus grandes limites de sensibilité et d'une manière simple. Il est donc désirable que, dans tous les cas, les instruments de mesure pour courants continus soient susceptibles de servir d'appareils de référence.

Les appareils électrodynamiques, à la rigueur susceptibles de rendre des services pour les plus faibles fréquences téléphoniques, deviennent inutilisables aux fréquences plus élevées à cause de leur forte impédance intérieure et des effets de capacité entre les enroulements de leurs bobines. Leur sensibilité est en outre assez faible. Des inconvénients analogues sont également inhérents à l'emploi d'électromètres à montage idiostatique et placés en dérivation aux bornes d'une résistance connue. Parmi ceux-ci, un des plus sensibles est l'appareil récemment mis au point par MM. Gutton et Laville, qui permet de mesurer moins d'un volt alternatif : une tension de $0^{v},3$ appliquée aux bornes de l'appareil, c'est-à-dire un milliampère dans 300 ohms, fait déplacer le spot lumineux d'une dizaine de divisions sur une règle graduée placée à 2 mètres, ce qui représente la plus petite lecture susceptible d'être effectuée avec quelque précision. Or une telle résistance de 300 ohms ou même davantage est difficilement admissible pour un milliampèremètre, car son introduction dans un circuit en change considérablement les caractéristiques. Les systèmes fondés sur le redressement des courants alternatifs (voltmètre amplificateur d'Abraham, voltmètre de Moulin) donnent dans bien des cas des résultats satisfaisants, mais leurs indications ont l'inconvénient de ne pas être en relation simple avec la valeur du courant ou plutôt de la tension mesurée, et leur étalonnage par comparaison n'est valable que si le courant de référence a la même forme d'onde que le courant étudié, et autant que possible une fréquence du même ordre.

Les appareils thermiques permettent ou contraire de mesurer l'intensité efficace. Ils sont de types divers, connus et utilisés depuis longtemps. Duddell a montré que les plus sensibles d'entre eux étaient les systèmes bolométriques et thermoélec-

triques. Ces derniers tendant de plus en plus à sortir du domaine du laboratoire purement scientifique pour entrer de façon courante, sous la forme de thermo-couples, dans celui de la technique téléphonique, il peut être intéressant de rappeler quels sont les divers appareils en présence desquels on se trouve, ainsi que les propriétés de chacun d'eux.

Principe des thermo-éléments. — Le thermo-couple est un ensemble constitué en principe par un élément chauffeur, le plus souvent un fil, dans lequel passe le courant à mesurer, et un couple ou association de deux métaux ayant deux points communs (fig. 1). L'un de ceux-ci, P_1, est une soudure placée au voisinage immédiat du fil chauffeur ; l'autre, soustrait au contraire à l'action de ce fil, est réalisé indirectement par l'intermédiaire d'un conducteur de métal quelconque qui unit les extrémités libres des deux métaux. Si les connexions de ce conducteur avec les métaux du couple sont à une température uniforme θ_2, tout se passera comme si un contact direct P_2 était assuré. Quand un courant circule dans le fil chauffeur, la chaleur Joule qu'il y développe se transmet au point de soudure P_1 par rayonnement, par conduction ou par convection, et le porte à une température θ_1. Si t est la différence entre les températures θ_1 et θ_2, le couple est le siège d'une force électromotrice e de la forme :

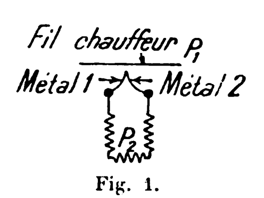


Fig. 1.

$$e = a\,t + b\,t^2,$$

expression dans laquelle a dépend de la température θ_2. Le coefficient b ayant toujours une valeur très faible et t demeurant assez petit dans la pratique, cette formule se réduit en général à :

$$e = a\,t.$$

Comme t est proportionnel à l'échauffement du fil chauffeur, c'est-à-dire au carré de l'intensité efficace du courant mesuré, e sera très sensiblement proportionnel au carré de cette intensité [1].

(1) Il peut y avoir, par rapport à cette loi, des écarts de 2 à 3 %, naturellement surtout sensibles quand on considère les forces électromotrices correspondant à des courants de grandeurs très différentes.

Les forces électromotrices des couples sont extrêmement petites (de l'ordre du millivolt) et se mesurent à l'aide de galvanomètres.

Duddell a depuis longtemps utilisé ces propriétés thermoélectriques dans des appareils où le couple (bismuth-antimoine) et le cadre galvanométrique forment un ensemble unique, suspendu par un fil de quartz (fig. 2). La sensibilité dépend de la résistance de l'élément chauffeur et de la position relative (réglable) de cet élément et du système suspendu. Dans les conditions les plus favorables, avec un élément chauffeur d'une résistance de 1.000 ohms, on peut obtenir, sur une règle divisée placée à un mètre du galvanomètre, une déviation du spot lumineux de 10 millimètres pour un courant de 20 microampères environ. Cet appareil, extrêmement intéressant en laboratoire, est toutefois peu transportable, car son réglage est délicat et exige une stabilité parfaite de l'équipage et du support. Il en existe un modèle beaucoup plus maniable, dans lequel le cadre est soutenu par un pivot unique autour duquel il tourne. Une aiguille, solidaire de ce cadre et mobile devant une graduation, donne par lecture directe la valeur du courant parcourant le fil chauffeur. Grâce à une série de shunts appropriés, l'appareil permet de mesurer des courants dont l'intensité est comprise entre deux milliampères et un ampère. Sa sensibilité est donc assez réduite.

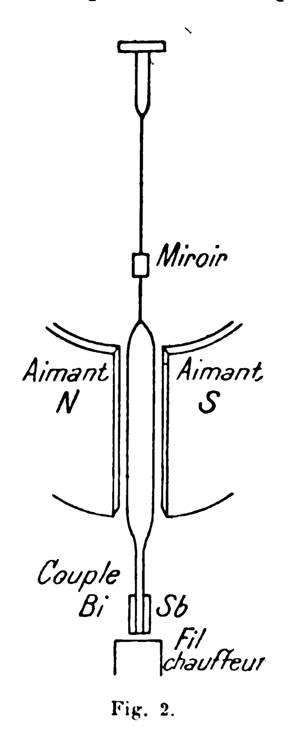


Fig. 2.

On emploie aujourd'hui, dans la pratique courante, des appareils plus sensibles, d'une manipulation cependant très facile, et dans lesquels les deux éléments constitutifs, thermocouple et galvanomètre, sont distincts. Ces deux catégories d'appareils doivent être judicieusement choisies et associées suivant

la nature et la précision de la mesure à effectuer. Elles seront examinées séparément.

THERMO-COUPLES.

Croix thermiques. — Parmi les thermo-couples que l'on rencontre dans le commerce et qui dérivent de types divers, les plus anciennement connus et fabriqués sont les *croix thermiques*. Les croix thermiques sont constituées par deux fils C et F (fig. 3) de métaux différents (en général fer et constantan), tendus en croix perpendiculairement l'un à l'autre entre quatre supports en

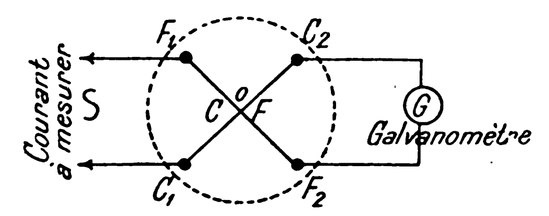


Fig. 3. — Schéma du montage d'une croix thermique.

verre contenant les conducteurs d'amenée des courants et reliés à quatre bornes C_1, C_2, F_1, F_2. Une légère goutte de soudure assure, en principe, un contact effectif entre les fils C et F en leur point de croisement O. L'exécution de cette soudure étant une opération assez délicate en raison de la finesse des fils qui ont seulement quelques centièmes de millimètre de diamètre, on se contente parfois de réaliser un contact par simple pression d'un des conducteurs, en forme d'accent circonflexe, sur l'autre fil qui reste sensiblement rectiligne. L'élément chauffeur de cet appareil se compose essentiellement de deux demi-fils quelconques de chaque métal, par exemple C_1O et OF_1; les deux autres demi-fils, OC_2 et OF_2, forment au contraire, avec leur point commun O, le couple proprement dit. Les bornes d'entrée et de sortie du courant à mesurer sont donc deux bornes consécutives quelconques, les deux autres bornes étant simplement connectées au galvanomètre.

L'ensemble des fils précédents est, en général, enfermé dans une ampoule de verre, où l'on fait le vide pour soustraire le

couple à l'action de la chaleur propagée par convexion et accroître la sensibilité de l'appareil. L'ampoule présente extérieurement la forme d'une lampe à trois électrodes de modèle ordinaire (fig. 4). Comme dans cette dernière, quatre broches servent à établir les liaisons.

Les croix thermiques sont d'une construction relativement aisée; mais cette simplicité même a pour contre-partie une diffé-

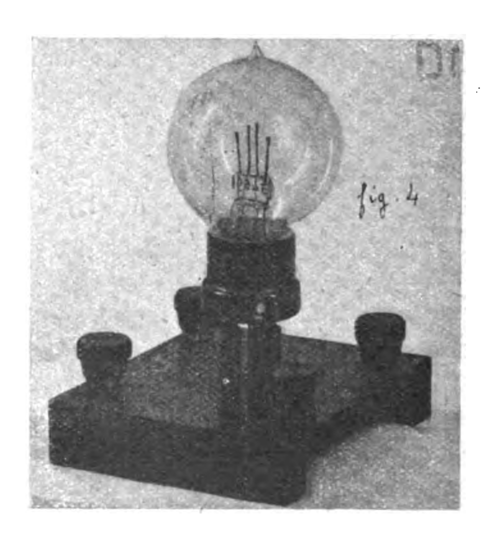


Fig. 4.

rence marquée entre les effets développés dans la soudure par des courants continus de sens opposés. La comparaison directe entre les courants continus et les courants alternatifs de même intensité est, de ce chef même, rendue difficile sinon impossible, ce qui est un inconvénient grave. Si l'on trace, en effet, des courbes représentant les déviations de l'appareil de mesure en fonction de l'intensité du courant traversant la soudure, on obtient des courbes du genre des courbes C_1, C_2, C, des figures 6 et 7 qui représentent respectivement le fonctionnement d'une croix thermique de 15 ohms sous l'action du courant alternatif et de courants continus : les ordonnées des points de la courbe C (courant alternatif) ont sensiblement pour valeur la demi-somme des

ordonnées des points de même abscisse des courbes C_1 et C_2 (courant continu).

L'origine de cette anomalie apparente est inhérente à la constitution même de la croix thermique, qui est, en effet, le siège de phénomènes complexes, Parmi ceux-ci, deux ont une influence prépondérante :

1° Au point de croisement O des deux circuits de chauffage et de mesure, on trouve inévitablement une petite résistance de contact (contact des fils F et C), qui, étant commune aux deux circuits, produit entre eux un certain *couplage*, c'est-à-dire qu'une partie du courant chauffeur se dérive dans l'appareil de mesures (fig. 5). Cette résistance r_c, extrêmement variable d'un élément à l'autre, et qui, pour un même élément, dépend un peu de l'intensité qui le traverse, peut atteindre $0^{\Omega},5$ et même 1 ohm ; elle est en général de quelques dixièmes d'ohm et descend parfois à quelques centièmes. Comme la résistance du circuit de mesure est, le plus souvent, d'une quinzaine d'ohms, le courant dérivé dans le galvanomètre peut dépasser 1 ou 2 °/₀ du courant principal et être sensiblement plus intense que le courant secondaire dû à l'échauffement de la soudure.

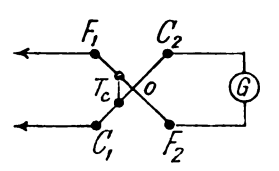


Fig. 5.

2° Le courant principal traversant normalement une soudure au point O y donnera naissance à un effet Peltier, se manifestant, suivant le sens du courant, par une absorption ou un dégagement de chaleur proportionnel à l'intensité du courant, à sa durée, et à une fonction à peu près linéaire de la température de la soudure. Cet effet Peltier d'échauffement ou de refroidissement se superposera donc à l'effet Joule normal.

Les deux phénomènes précédents, dont le plus important est en général l'effet de couplage [1], se traduisent par la production-

[1] On peut se rendre compte des ordres de grandeur des deux phénomènes en comparant les résultats des deux mesures suivantes : 1° on note la valeur du courant i_1 pour lequel s'annule la déviation du spot du galvanomètre ; 2° au moyen d'un commutateur, on coupe le circuit du courant principal et on ferme aussitôt le circuit du galvanomètre de mesure,



tion, à la surface de séparation des deux métaux, d'une force

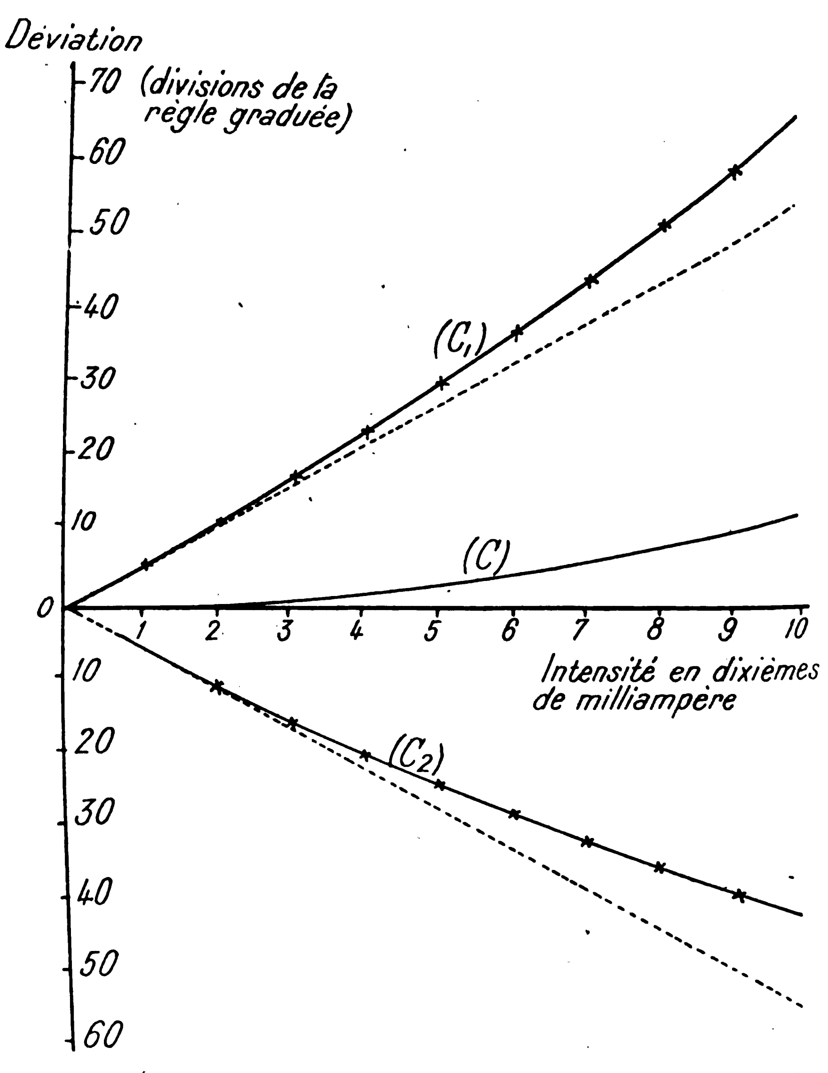


Fig. 6. — Étalonnage d'une croix thermique au moyen d'un galvanomètre de 8 ohms. — C_1, C_2, courbes pour chaque sens de courant continu; — C, courbe moyenne (courant alternatif).

électromotrice sensiblement proportionnelle à l'intensité du courant mesuré.

---

supposé resté ouvert pendant le passage du courant principal dans l'élément chauffeur : on obtient au galvanomètre une élongation instantanée

Quand celui-ci est alternatif, l'effet Peltier ne peut appa-

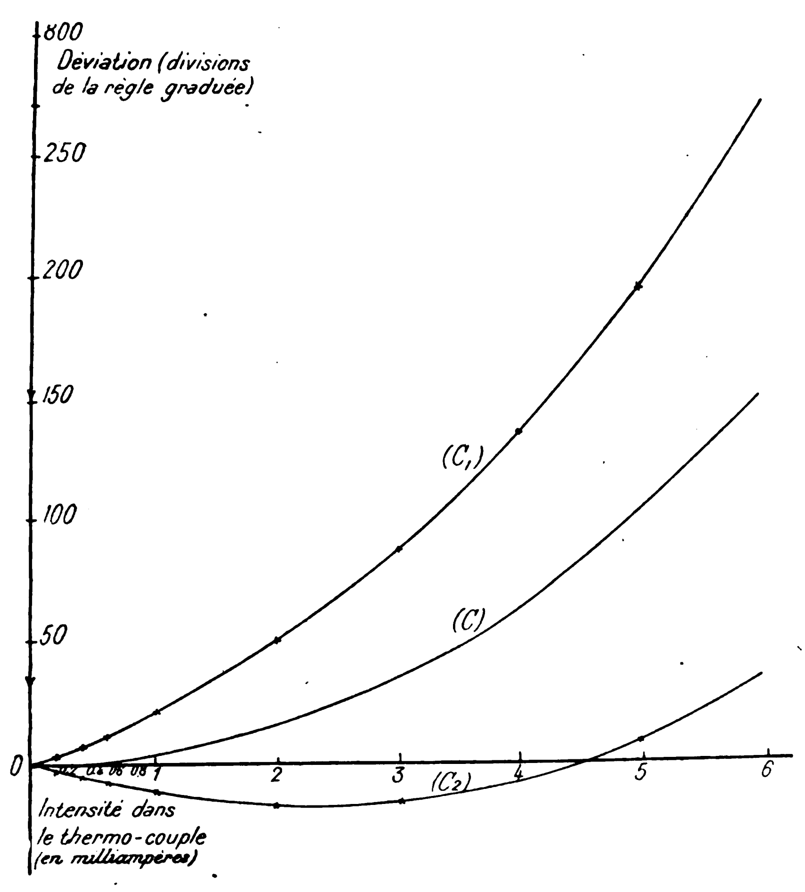


Fig. 7. — Étalonnage d'une croix thermique au moyen d'un galvanomètre de 800 ohms.

raître, en raison du changement de son sens à chaque alternance et de l'inertie calorifique des fils du couple. Seule existe pratique-

---

qui est indépendante de l'effet de couplage; c'est une fonction croissante de la température de la soudure, qui s'annule en même temps que celle-ci c'est-à-dire pour une intensité et un sens de courant tels que l'effet Peltier soit égal et opposé à l'effet Joule. Cette valeur i_2 de l'intensité est en général notablement (trois ou quatre fois) plus petite que la valeur i_1, ce qui signifie bien que l'effet Peltier ne représente qu'une faible part de l'effet total. L'effet de couplage peut se déterminer d'ailleurs directement par la mesure au moins approximative de la résistance r_c.

ment la dérivation dans l'appareil de mesure qui, fonctionnant seulement lorsqu'il est traversé par des courants continus, ne sera évidemment influencé que si sa période d'oscillation est suffisamment brève et la période du courant mesuré suffisamment longue. Dans la pratique, pour les courants de fréquence usuelle, on ne rencontre pas de difficultés sérieuses de ce chef. D'un autre côté, le courant dérivé est toujours une fraction assez petite du courant principal pour qu'on puisse négliger la chaleur Joule que son passage dégage dans les deux demi-fils de la croix thermique en série avec l'appareil de mesure. Le fonctionnement de l'ensemble thermo-couple—galvanomètre est donc à peu près normal, et semblable au fonctionnement théorique.

Si, au contraire, le courant que l'on mesure est continu, le galvanomètre indiquera l'effet résultant de la dérivation de ce courant et des forces électromotrices dues à la chaleur Joule et à l'effet Peltier. La relation entre les déviations du spot lumineux et le courant mesuré sera donc de la forme :

$$d = k\, i^2 + m\, i, \qquad (1)$$

alors que, s'il s'agit d'un courant alternatif, elle se réduit à :

$$d = k\, i^2.$$

On conçoit donc que, suivant le sens du courant continu, les dérivations correspondant à une même intensité puissent être fort différentes et même être de sens inverses. La différence sera relativement d'autant plus sensible que i sera plus petit, comme on le vérifie sur les courbes des figures 6 et 7, relevées respectivement pour des courants de 0 à 1 milliampère et de 1 à 10 milliampères. (La croix thermique à laquelle se rapportent ces courbes avait une force électromotrice de $3^{\mathrm{mV}},3$ environ, pour un courant alternatif de 10 milliampères et une résistance de « couplage » r_c d'à peu près $0^{\Omega},15$).

Ainsi, un courant alternatif et un courant continu de même intensité efficace font dévier le spot du galvanomètre de quantités très différentes. Un étalonnage du système couple — galvanomètre à l'aide du courant continu est donc malaisé. Le procédé

qui consisterait à lire les indications d_1 et d_2 de l'appareil de mesure pour chacun des deux sens de courant continu et à prendre leur moyenne arithmétique pour caractériser le courant alternatif de même intensité efficace, paraît théoriquement applicable d'après la relation (1), car :

$$d_1 = k\,i^2 + m\,i,$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} = k\,i^2.$$

$$d_2 = k\,i^2 - m\,i.$$

Mais le coefficient m n'est pas une constante absolue, ni même une fonction paire de i, du moins au sens strict du mot. Il dépend, jusqu'à un certain point, de la température de la sou-

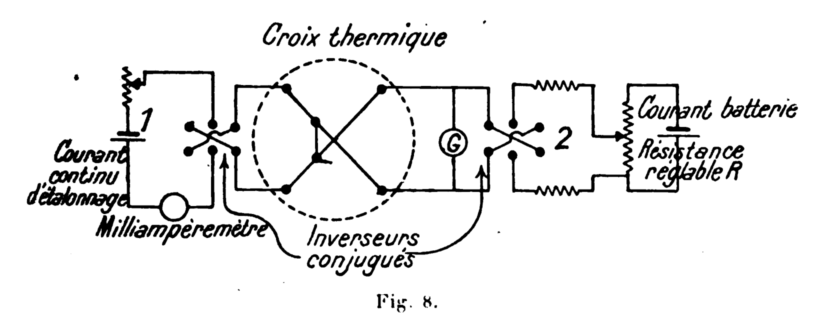


Fig. 8.

dure, c'est-à-dire de la valeur de i et du sens du courant pour une valeur donnée de l'intensité. On ne saurait donc écrire en toute rigueur les équations précédentes. Le défaut le plus grave que l'on puisse d'ailleurs reprocher à ce procédé est son manque absolu de précision pratique, conséquence de la différence des ordres de grandeur de d, d_1 et d_2. Cet inconvénient le rend impropre à toute mesure requérant un peu d'exactitude.

Divers dispositifs sont utilisés pour diminuer ces causes matérielles d'erreur et réduire ou même supprimer l'influence du sens du courant sur la déviation d. Ils reposent sur la production, dans le circuit du galvanomètre, d'une force contre-électromotrice en opposition avec la force électromotrice pertubatrice résultant du couplage et de l'effet Peltier. Cette force contre-électromotrice peut être indépendante du courant continu ser-

vant à l'étalonnage et empruntée à une batterie auxiliaire, mais il faut alors l'ajuster pour chacune des valeurs de ce courant. Un schéma correspondant à cette solution est représenté par la figure 8. On règle la résistance R de façon que l'inversion simultanée du courant dans les circuits 1 et 2 ne produise aucun changement dans l'indication du galvanomètre. Pour éviter d'avoir sans cesse à agir sur la force contre-électromotrice, on

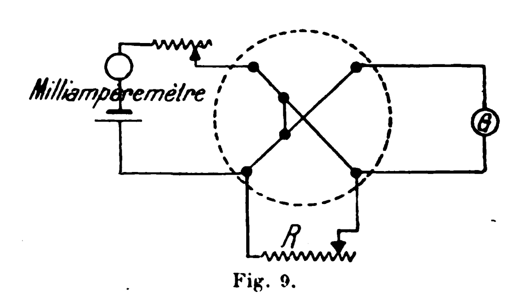


Fig. 9.

peut aussi créer, dans le circuit de mesure, une dérivation du courant principal qui fera naître aux bornes du galvanomètre une différence de potentiel proportionnelle à ce courant et ajustée une fois pour toutes de façon à être systématiquement égale et opposée à la force électromotrice perturbatrice. La figure 9 montre le schéma de principe simplifié d'un tel dispositif, dans lequel la résistance R réglable sert à réaliser l'équilibre désiré. En réalité, comme m varie légèrement avec i, il n'existe pas de valeur de R telle qu'un équilibre exact puisse être obtenu pour toutes les valeurs de i. Néanmoins, si l'on ne veut pas parfaire à chaque mesure le réglage du dispositif, il est loisible de choisir pour R une valeur unique réduisant beaucoup l'écart relatif de d_1 et de d_2 et permettant de prendre sans erreur grossière la demi-somme $\frac{d'_1 + d}{2}$ pour caractériser i.

Cet étalonnage en courant continu est, comme on le voit, délicat et complexe ; il repose sur des hypothèses parfois discutables et peut être susceptible de laisser subsister, pour des raisons théoriques déjà indiquées, quelques divergences entre les résultats auxquels il conduit et les mesures correspondantes

faites à l'aide du courant alternatif. Aussi, lorsque l'on dispose d'une source de courant alternatif de fréquence industrielle (40 à 60 ps), pour lequel il existe des instruments de mesure commodes et précis, est-il préférable d'opérer par comparaison entre ce courant de basse fréquence et le courant de fréquence téléphonique ou de haute fréquence.

Comme les milliampèremètres usuels ne permettent pas de mesurer facilement moins de 10 milliampères et que l'on rencontre fréquemment en téléphonie des courants de 100 microampères, il est nécessaire de recourir à certains artifices : la

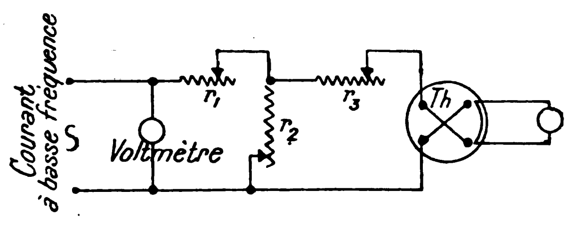


Fig. 10.

figure 10 reproduit l'un d'entre eux, qui est basé sur l'emploi d'un voltmètre et de trois résistances réglables et connues, r_1, r_2, r_3, grâce auxquelles on peut amener le courant, dans le thermo-couple Th, à la valeur voulue et connaître facilement cette valeur.

Ce procédé d'étalonnage n'est malheureusement applicable d'une façon pratique qu'en laboratoire, et ne saurait convenir pour des mesures faites dans des conditions quelconques comme cela peut être le cas en téléphonie. Toutefois, si l'appareil de mesure est un microampèremètre à lecture directe, l'ensemble couple—microampèremètre est susceptible d'être gradué une fois pour toutes : l'expérience montre, en effet, que son étalonnage demeure assez constant et ne demande à être vérifié qu'à de rares intervalles. Il n'en est plus ainsi si on substitue au microampèremètre un galvanomètre, dont les indications sont facilement variables, mais qui seul permet de mesurer les très petits courants (inférieurs à 1 milliampère).

Les mesures de ce genre, qui peuvent être effectuées dans

des conditions d'installation défectueuses tout en exigeant de la précision et de la sensibilité, requièrent un matériel simple et robuste, commodément transportable, se prêtant à des vérifications rapides, c'est-à-dire, en fin de compte, à une comparaison directe et précise entre les indications du système couple—galvanomètre et celles d'un milliampèremètre à courant continu.

Un second type de thermo-élément paraît bien répondre à ces conditions : ce sont ces thermo-éléments à fil chauffeur et à couple distincts qui méritent un examen spécial.

Thermo-éléments à fil chauffeur et à couple distincts. — Ces thermo-éléments dérivent directement du système thermo-électrique de Duddell. Ils se composent essentiellement d'un fil chauffeur et d'une soudure placée au voisinage immédiat de ce dernier. Il en existe deux modèles, qui se différencient principalement par la position relative du fil chauffeur et de la soudure.

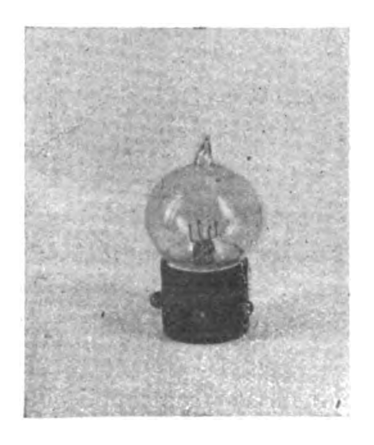


Fig. 11.

a) Dans le premier modèle, qui se présente, comme les croix thermiques, sous la forme d'ampoules de petite taille et vides d'air avec quatre bornes extérieures (fig. 11), une légère goutte de soudure assure, entre le fil chauffeur et la soudure, un contact métallique et, par suite, une bonne transmission de la chaleur d'un élément à l'autre. Le thermo-couple ainsi constitué pourra donc avoir une sensibilité convenable sans être exposé aux inconvénients de l'effet Peltier ou d'une grande résistance de couplage ; toutefois, le point de soudure laisse subsister, malgré sa finesse, un petit élément commun au circuit de chauffage et au circuit du galvanomètre ; il en résulte, là encore, une dérivation du courant principal dans le galvanomètre. Mais cette dérivation

est relativement très faible $\left(\text{environ } \frac{1}{10}, \text{ du courant principal}\right)$ et n'intervient que pour une part minime dans l'effet global. Inappréciable quand il s'agit de mesurer plusieurs milliampères

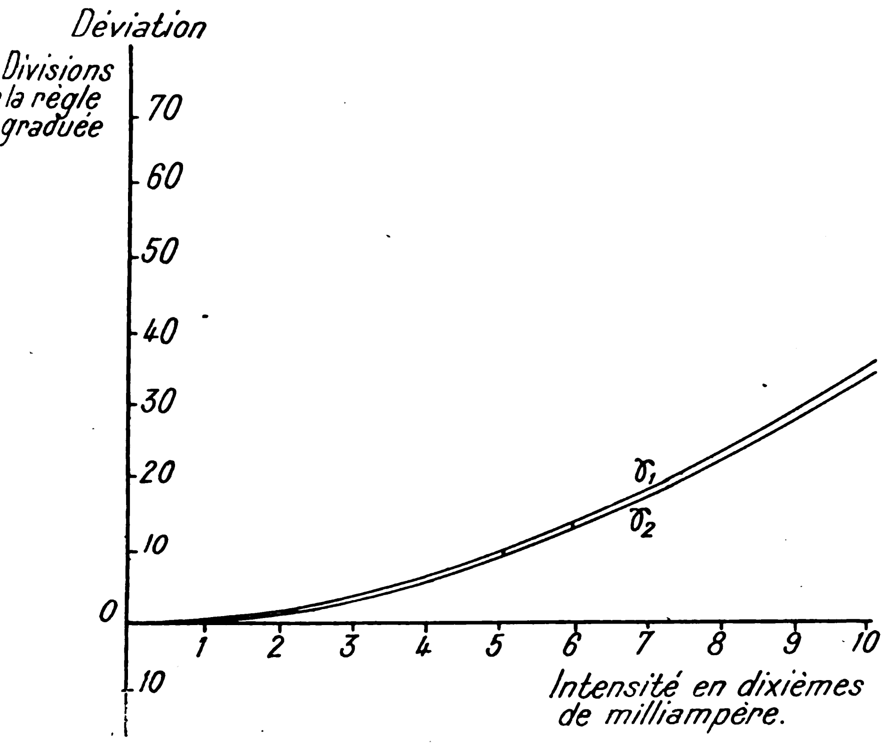


Fig. 12. — Etalonnage d'un thermo-élément (vacuo-junction) avec un galvanomètre de 8 ohms. — γ_1 γ_2, courbes pour les deux sens de courant continu.

et qu'on utilise pour cela un instrument à grande résistance intérieure, cet effet ne devient sensible que si on mesure quelques dixièmes de milliampère avec un galvanomètre peu résistant. Les courbes des figures 12 et 13, relevées sur un de ces thermo-éléments, construit par la Cambridge Instruments C° sous le nom de *vacuo-junction* (fig. 11), illustrent ce fait et montrent en même temps qu'il suffit d'une petite correction, parfaitement légitime et d'ailleurs facile, pour obtenir une comparaison précise entre les déviations produites par des courants continus et alternatifs.

La demi-somme des lectures qui correspondent aux deux sens de courant continu, et qui ne diffèrent que de quelques divisions, fournit en effet, avec une très grande approximation, la valeur de la déviation d due à un courant alternatif de même intensité, car, dans un aussi petit intervalle que l'intervalle $d_1 - d_2$, les déviations du galvanomètre peuvent toujours être

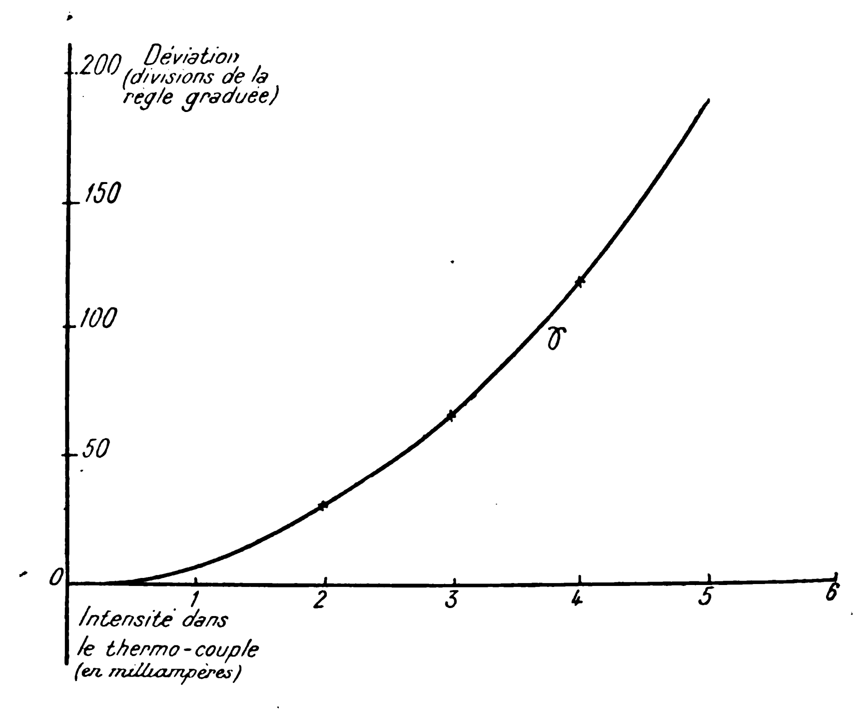


Fig. 13. — Etalonnage d'un thermo-élément (vacuo-junction) avec un galvanomètre de 800 ohms. Pratiquement, une seule courbe γ pour les deux sens de courant continu.

considérées comme proportionnelles aux courants qui le traversent. De plus, la loi de variation de la force électromotrice au couple y est nécessairement très régulière. Inversement, étant donné une déviation d, il est aisé de régler rapidement l'intensité du courant continu à une valeur telle, que les déviations d_1 et d_2, obtenues par inversion du sens du courant et qui sont toujours très voisines, encadrent symétriquement la déviation d. Il y a alors égalité entre les intensités des deux courants.

b) Dans le second modèle, il n'y a aucun contact entre le couple et le fil chauffeur. Ce dernier est d'ailleurs mobile, et sa distance au couple, susceptible de varier de $0^{mm},5$ à 3 ou 4 millimètres, peut être ajustée de façon à donner à l'ensemble une sensibilité plus ou moins grande. L'absence de point commun entre les deux éléments constitutifs de l'instrument élimine la dissymétrie de fonctionnement pour les deux sens de courant continu et permet d'éviter l'influence des dérivations par la capacité au sol des appareils de mesure, qui peut être nuisible pour les mesures en très haute fréquence (radiotélégraphie). Cet avantage a pour contre-partie une réduction considérable de la sensibilité : on y remédie partiellement en montant en série un certain nombre (en général une dizaine) de couples au voisinage d'un même fil chauffeur. Néanmoins, ce genre d'appareil, surtout intéressant pour les très hautes fréquences et les courants importants (courants d'antenne par exemple), paraît moins bien convenir aux besoins de la téléphonie, pour laquelle un très haut degré de sensibilité est indispensable.

Sensibilité des thermo-couples.

La sensibilité d'un thermo-couple s'exprime par le nombre de millivolts ou de microvolts de la force électromotrice créée dans la soudure par le passage, dans le fil chauffeur, d'un courant alternatif d'une intensité donnée, par exemple 1 ou 10 milliampères. Cette sensibilité est fonction d'un certain nombre d'éléments, parmi lesquels interviennent au premier chef les suivants.

a) **Nature des métaux constituant le couple.** — Ceux-ci doivent être choisis de manière à former un couple très sensible aux variations thermiques, tout en ne possédant qu'une faible capacité calorifique. Dans les appareils Duddell, on utilise, comme on l'a vu, le couple bismuth-antimoine. Les thermo-éléments courants reposent, en général, sur l'emploi du fer et du constantan. La variation de la force électromotrice

de ce dernier couple avec la température dépend naturellement de la qualité des échantillons utilisés. A titre d'exemple, est donnée la relation suivante valable pour t compris entre 0 et $+ 100^\circ$ C :

$e = (5.300\ t + 2\ t^2)\ 10^{-5}$ millivolts (couple fer—constantan), où t est la température de la soudure chaude, en degrés centigrades, celle de la soudure froide étant supposée nulle. D'après cette formule, une variation de t de 10° correspondrait approximativement à une variation d'un demi-millivolt pour e.

b) Résistance du fil chauffeur. — La quantité de chaleur dégagée par le passage du courant dans le fil chauffeur est proportionnelle à la résistance de ce fil. On conçoit donc qu'un accroissement de cette résistance ait pour conséquence une augmentation de la sensibilité du thermo-élément. Des limites sont néanmoins imposées par la nécessité de lui conserver une valeur relativement faible, afin de ne pas retomber, pour les thermo-éléments, dans l'inconvénient déjà signalé pour le Duddell. Ces limites dépendent d'ailleurs de l'usage que l'on veut faire de l'appareil. Lorsqu'en particulier on l'utilise comme indicateur de courant pour étudier la résonance des circuits couplés, il est nécessaire de disposer de thermo-éléments peu résistants (1 ohm et même moins). Il en sera de même pour la mesure des courants intenses. Au contraire, lorsqu'il s'agit de mesurer des courants très faibles, de l'ordre du milliampère, cette résistance peut être augmentée et atteindre une cinquantaine d'ohms.

L'élément chauffeur est constitué par des matériaux peu fusibles : c'est, par exemple, dans certains cas, un simple fil de platine, parfois encore, comme dans le Duddell, un fil de quartz recouvert d'un mince dépôt de platine. L'ensemble de l'élément chauffeur et des conducteurs d'amenée du courant est d'ailleurs disposé de façon à posséder une inductance et une capacité propres aussi réduites que possible.

c) Position relative du fil chauffeur et du couple. — Cette

cause a déjà été signalée : le contact métallique existant dans les croix thermiques et dans les « vacuo-junctions » confère à ces éléments une sensibilité élevée. De même, la résistance du contact r_c, que traverse le courant circulant dans les croix thermiques et qui est localisée dans la soudure elle-même, intervient pour accroître encore cette sensibilité.

Voici quelques chiffres qui donneront une idée des forces électromotrices développées dans les couples usuels pour un courant de 10 milliampères :

Croix thermiques de 10 ohms...	de 3 à 4 millivolts,
Vacuo-junctions de 30 ohms...	de 6 à 7 »
» » » 1 ohm....	environ 40 microvolts,
Thermo-éléments sans contact entre fil chauffeur et couple, d'une résistance de............. 1 ohm....	10 microvolts.

La résistance d'un thermo-couple doit être choisie non seulement d'après la sensibilité que l'on désire, mais aussi d'après la valeur du courant maximum susceptible de la traverser et qui doit rester au-dessous d'un certain courant de sécurité, particulier à chaque type de couple.

Instruments de mesure.

Les forces électromotrices produites sont donc toujours très faibles et ne sauraient être évaluées directement. On tourne la difficulté en mesurant les courants correspondants dans des appareils galvanométriques appropriés. On montre facilement que, pour obtenir le maximum de sensibilité, la résistance de ces appareils doit demeurer voisine de celle des couples, c'est-à-dire être de quelques ohms.

En effet, un type de galvanomètre étant supposé défini par l'intensité de son champ magnétique, la nature et les dimensions du fil de suspension, le poids de cuivre p de l'enroulement optimum du cadre sera pratiquement déterminé ; soient alors n le nombre de spires du cadre, l la longueur et s la section du fil, ρ la résistivité du cuivre, r la résistance du

couple. Le courant i, produit dans le galvanomètre par la force électromotrice e du couple, sera égal à :

$$i = \frac{e}{\rho \frac{l}{s} + r}.$$

La sensibilité du galvanomètre étant d'ailleurs proportionnelle au nombre d'ampères-tours $n\,i$, c'est-à-dire, en fait, au produit $l\,i$, on voit facilement que, pour rendre maximum ce produit $l\,i = e.\frac{ls}{\rho\,l + r\,s} = e\,\frac{k\,p}{\rho\,l + r\,s}$ (k étant une constante), il faut que l et s satisfassent à l'égalité :

$$\rho\,l = r\,s,$$

$$\text{ou : } \rho \frac{l}{s} = r.$$

La résistance $\rho \frac{l}{s}$ du galvanomètre doit donc être théoriquement égale à celle du couple, qui est habituellement comprise entre 5 et 10 ohms.

Parmi les instruments de mesure utilisés, les uns sont du type du microampèremètre à aiguille et à lecture directe, les autres sont au contraire des galvanomètres proprement dits.

Les *microampèremètres*, dont la partie mobile est évidemment soumise à ces couples électromagnétiques très petits, doivent posséder une suspsension particulièrement bien étudiée. Les appareils de la Cambridge Instruments C° dits « unipivots » parce que leur système suspendu repose par une seule pointe sur une cupule de rubis, donnent, à cet égard, des résultats dignes de remarque. Suivant la résistance de leur bobine, qui varie de 10 à 30 ohms, ils permettent d'apprécier avec précision de 1 à 10 milliampères, quand ils sont associés à des « vacuo-junctions ». En raison de la constance des couples, les microampèremètres peuvent être gradués directement en valeurs de l'intensité du courant alternatif mesuré et former avec le couple un appareil d'un seul tenant, éminemment portatif.

Les *galvanomètres* étendent l'emploi du thermo-couple à

la mesure des courants inférieurs au milliampère. Aussi jouent-ils un rôle important en téléphonie. Ils sont de caractère et de sensibilité très divers. Il y a lieu cependant de distinguer les instruments n'ayant qu'une constante de mérite relativement peu élevée, mais transportables pour ainsi dire en tous lieux, et les instruments de laboratoire beaucoup plus sensibles, mais dont la mise en station et en œuvre demande certains soins.

Les premiers doivent avoir une suspension robuste, pouvoir se fixer rapidement à un support quelconque et ne pas nécessiter de réglage minutieux. Un modèle très intéressant, établi par la maison Chauvin et Arnoux, est représenté sur la figure 14 (le boîtier étant retiré). Une suspension à la Cardan lui assure une bonne verticalité, indépendante du mode de fixation. Grâce à un viseur solidaire d'une règle divisée et maintenu à une distance convenable du galvanomètre (30^{cm} environ) par un bras démontable, on peut utiliser directement la lumière du jour ou celle d'une lampe quelconque et ne pas être astreint à recourir à un éclairage artificiel spécial. Avec de tels galvanomètres ayant une résistance de 5 ohms, et associés à des croix thermiques de 15 ohms ou des vacuo-junctions de 30 ohms, on apprécie facilement le demi-milliampère et même moins (une dizaine de divisions doubles pour $0^{mA},5$). Si l'on se sert de l'éclairage ordinaire, avec spot lumineux, à un mètre, la lecture du dixième de milliampère devient possible. Ces appareils, précis, sensibles, bien comparables à eux-mêmes et peu encombrants, sont précieux pour l'ingénieur des téléphones.

Dans la deuxième catégorie d'appareils se classent les galvanomètres Thomson à faible résistance et les galvanomètres dérivés (type Broca-Carpentier, type cuirassé Du Bois-Rubens). Le spot lumineux d'un galvanomètre de ce type ayant 10 ohms de résistance et une constante de mérite de 4×10^{-10} comme il s'en trouve actuellement dans le commerce, est susceptible de dévier d'une dizaine de millimètres pour des courants inférieurs à cinquante microampères circulant dans le thermo-couple associé. Il va sans dire que, pour effectuer dans ces conditions de bonnes mesures et ne pas rendre illusoire cet accroissement

de sensibilité, il faut s'entourer de précautions ; il est en particulier nécessaire de protéger les appareils, par des écrans, contre les plus petites influences thermiques étrangères, de réaliser les connexions en fils de métal homogène, et de réduire au minimum le nombre des contacts et la valeur de leur résis-

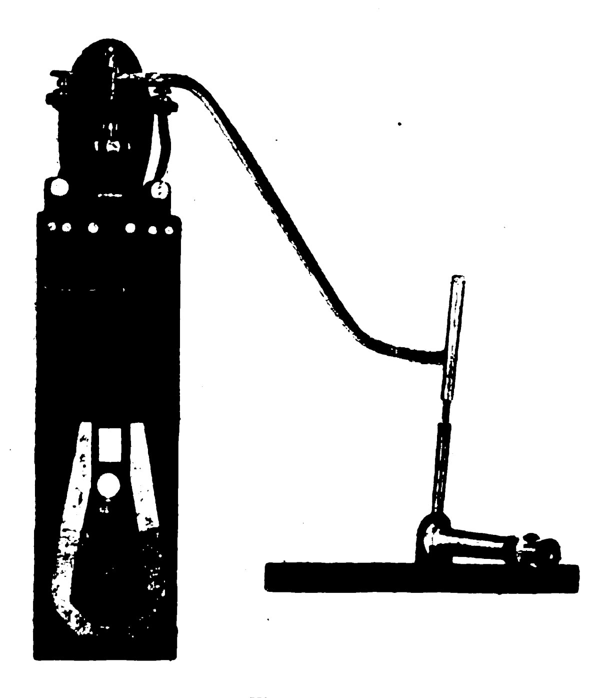


Fig. 14.

tance dans les circuits du galvanomètre ; entre les supports des galvanomètres, qui doivent être très rigides et à l'abri de toute trépidation, et les galvanomètres eux-mêmes, il y a enfin parfois lieu d'interposer un amortisseur, afin d'assurer une stabilité parfaite du zéro.

*
* *

On s'est efforcé, par l'exposé précédent, de montrer que, moyennant quelques dispositions assez simples et d'une technique aisée, la thermo-électricité fournit des instruments com-

modes et d'une grande sensibilité pour l'étude des courants alternatifs. D'autres appareils permettent peut-être de pousser plus loin la mesure des très faibles intensités : tels les galvanomètres à vibrations. Mais aucun ne possède une pareille uniformité d'indications pour une gamme de fréquences aussi large : si cette dernière ne s'étend pas en effet aux ondes les plus courtes de la radiotélégraphie, elle comprend néanmoins des fréquences de plusieurs centaines de milliers de périodes par seconde et englobe toutes celles de la téléphonie ordinaire ou de la téléphonie par courants porteurs de hautes fréquences. Cette qualité est cependant acquise sans nuire en aucune façon à la souplesse et à la simplicité des méthodes de mesure. Les divers types de thermo-couples et de galvanomètres ne présentent d'ailleurs pas tous des avantages identiques, spécialement au point de vue de la sensibilité et des commodités d'étalonnage, et répondent à des besoins également divers. Il en est de même pour l'appareil de mesure galvanométrique. Le choix du technicien dépendra donc des problèmes de mesure qui lui seront posés et tendra à utiliser les éléments qui donneront, à meilleur compte et au prix des moindres complications, les résultats cherchés.

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

Méthode de précision pour la comparaison, aux fréquences téléphoniques, des inductances mutuelles inégales (L. Hartshorn : *Journal of scientific instruments* : février 1925). — En Angleterre, on procède généralement aux mesures de l'inductance et de la capacité par comparaison avec un étalon d'inductance mutuelle ; l'étalon primaire est constitué par l'inductance mutuelle de Campbell, déposée au laboratoire national de physique. La comparaison de deux inductances mutuelles constitue ainsi une mesure d'une importance considérable. Les méthodes de mesure dont on dispose aujourd'hui ont été signalées par A. Campbell dans le *Dictionary of applied physics* de Glazebrook [1]. Pour comparer entre elles deux inductances mutuelles différentes, on peut recourir soit à la méthode de Maxwell soit à la méthode de Campbell. Au point de vue des mesures en courant alternatif, la méthode de Maxwell est désavantageuse, en ce sens qu'elle nécessite la connaissance de la résistance effective des enroulements secondaires des inductances mutuelles qu'on se propose de comparer entre elles. Cette difficulté n'existe pas lorsqu'on utilise la méthode de Campbell, mais, comme la première méthode d'ailleurs, elle ne convient que si l'on a affaire à des inductances mutuelles rigoureusement pures ; en d'autres termes, l'une et l'autre méthode supposent que la tension induite dans le secondaire est exactement décalée en phase de 90° par rapport au courant primaire. On sait que, dans la pratique, il n'en est pas rigoureusement ainsi : aux hautes fréquences téléphoniques, le décalage de phase est sensiblement différent de 90°. Appelons φ l'angle de phase, et $\delta = 90° - \varphi$ l' « erreur de phase » de l'inductance mutuelle ;

---

(1) *Dictionary of applied physics* : II, p. 424.

δ est une mesure du « défaut » de l'appareil. On peut exprimer par la formule :

$$E_s = (\sigma + j\,M\omega)\,I_p,$$

le rapport vectoriel existant entre la tension induite dans le secondaire E_s et l'intensité du courant primaire I_p ; dans cette expression, M est l'inductance mutuelle ; $\omega/2\pi$, la fréquence ; et j, l'opérateur de rotation d'un angle droit. Butterworth a fait usage de cette formule : σ est appelé le « défaut » de l'inductance mutuelle (1). Il a les dimensions d'une résistance et est relié à l' « erreur de phase » δ par la formule :

$$\operatorname{tang} \delta = \frac{\sigma}{M\omega}.$$

Butterworth (2) a étudié mathématiquement l'effet des capacités propres et mutuelles des enroulements sur les inductances mutuelles, ainsi que les pertes par courants de Foucault qui s'y produisent. Entre autres choses, il montre qu'elles sont cause que l'inductance mutuelle varie avec la fréquence (les variations étant proportionnelles au carré de la fréquence) et qu'elles sont aussi la source d'un défaut σ. En outre, Butterworth indique que, puisque les capacités mutuelles entre enroulements varient selon qu'on prend tel ou tel point commun (pont de Carey Foster et pont de Campbell pour la mesure des fréquences), la valeur réelle de l'inductance mutuelle peut différer pour un même appareil utilisé dans des ponts différents. Si l'inductance mutuelle ne comporte pas de point commun, les potentiels relatifs des enroulements primaire et secondaire dépendent sans doute pour beaucoup des capacités de dispersion. Donc l'effet de capacité mutuelle et, par suite, la valeur de l'inductance mutuelle risquent d'être instables et de varier au cours d'une même expérience. Par conséquent, il est désirable que le primaire et le secondaire aient un point commun toutes les fois que des inductances mutuelles sont utilisées avec un courant de haute fréquence.

(1) Voy. Silsbee : *Bull. Bur. of Stand* : 1916, p. 414.
(2) Butterworth : *Proc. Phys. Society* : 1921, p. 312.

Si l'on essaye d'appliquer les méthodes de Maxwell ou de Campbell pour comparer entre elles, à haute fréquence, de fortes inductances mutuelles, on se heurte aux difficultés suivantes :

a) On ne réalise pas un équilibre rigoureux : on obtient seulement un bruit minimum dans le récepteur téléphonique ;

b) La lecture faite au moment où le bruit perçu est le plus faible est sujette à variations, puisque les potentiels relatifs des circuits primaire et secondaire ne sont pas exactement définis lorsqu'on utilise des points communs.

La méthode décrite ci-dessous supprime ces difficultés. On utilise des points communs et les « défauts » sont équilibrés, de sorte que l'on n'entend rien dans le téléphone. De plus, si l'un des appareils à comparer est un étalon dont le « défaut » est parfaitement connu, la méthode permet de déterminer le « défaut » propre du second appareil.

Convention quant au signe. — Le sens de la force électromotrice induite dans un enroulement change lorsqu'on inverse le sens de l'enroulement. On peut donc considérer une inductance mutuelle soit comme positive, soit comme négative. De même, le « défaut » peut être positif ou négatif, et il est nécessaire de faire une convention en ce qui concerne le signe à prendre. Butterworth considère l'inductance mutuelle M comme positive lorsque le sens des enroulements est tel que (avec un point commun), si l'on applique le courant aux extrémités libres du système, l'inductance mutuelle tend à s'opposer aux self-inductions. Nous adopterons la même convention, mais en l'expliquant autrement. Soit le cas représenté sur la figure 1 *a*; appelons I_p l'intensité du courant primaire qui se dirige vers le point commun et E_s la tension dans le secondaire, considérée comme orientée vers le point commun. Quand E_s est en avance sur I_p, comme le montre le diagramme vectoriel (fig. 1 *b*), l'inductance mutuelle est considérée comme positive. Si σ est également positif, on voit que E_s est en avance sur I_p d'un angle φ inférieur à 90° ; l'« erreur de phase » δ est aussi positive.

Le diagramme vectoriel restera le même si l'on considère

I_p et E_s comme agissant tous deux en s'écartant du point commun au lieu de s'en rapprocher ; mais, pour s'en tenir à la convention

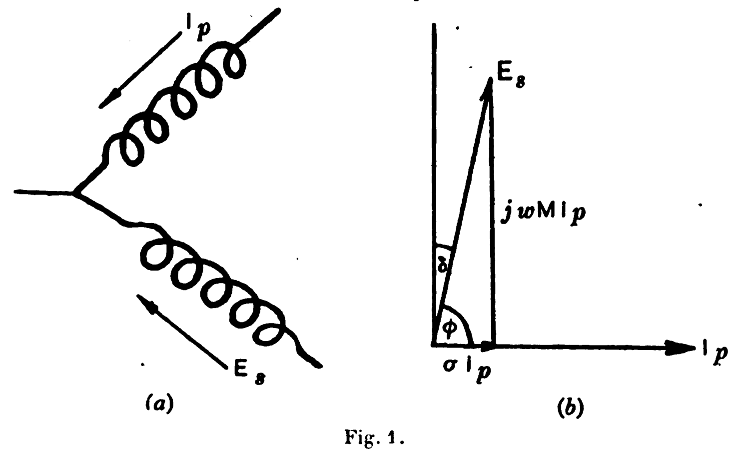


Fig. 1.

adoptée, il faut choisir entre l'une et l'autre de ces alternatives. On peut alors appliquer la formule

$$E_s = (\sigma + j\,M\,\omega)\,I_p\,.$$

Description de la méthode. — La figure 2 montre comment

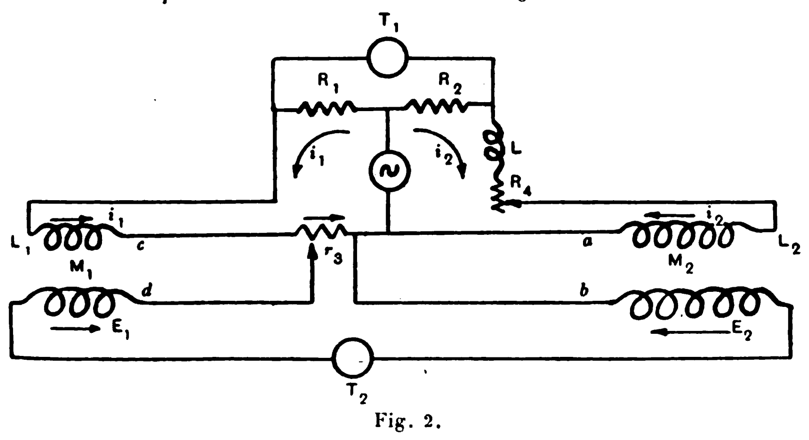


Fig. 2.

on applique la méthode. M_1, M_2 représentent les inductances mutuelles; R_1, R_2 sont des résistances non-inductives (type habituel des branches de proportion) ; r_3 est une petite résistance variable (fil à contact glissant) ; T_1 et T_2 sont des récepteurs téléphoniques ; L_1 et L_2 représentent les enroulements primaires

des inductances mutuelles. On commence par mettre hors circuit le récepteur T_2 ; le circuit secondaire se trouve ainsi ouvert. Puis on équilibre le circuit primaire (qui constitue en réalité un pont pour la mesure de l'inductance propre) en faisant varier L et R_4 jusqu'à ce qu'aucun bruit ne soit perçu dans T_1. L et R_4 sont là uniquement pour permettre de réaliser l'équilibre. Lorsque l'équilibre est obtenu, les courants i_1 et i_2 circulent dans les primaires dans le sens indiqué. Les points A et B étant au même potentiel, il est facile de voir qu'on doit avoir :

$$R_1 i_1 = R_2 i_2 . \qquad (1)$$

Supposons maintenant qu'on remette en circuit T_2, qu'on déplace la prise de contact sur r_3, et qu'on fasse varier M_1 jusqu'à ce qu'on n'entende rien dans T_2. Quand l'équilibre est réalisé, il ne circule encore aucun courant dans le circuit secondaire, et ainsi les courants i_1 et i_2 restent les mêmes. Les forces électromotrices qui agissent dans le circuit secondaire sont les deux forces électromotrices E_1 et E_2 (agissant dans le sens indiqué sur la figure, d'après la convention mentionnée ci-dessus), ainsi que la différence de potentiel entre les deux points de potentiel sur r_3. Si l'on appelle r_3 la résistance entre ces deux points, cette différence de potentiel est $r_3\ i_1$ et elle agit dans le sens de i_1. Ainsi l'équation vectorielle pour le second équilibre est :

$$E_1 + i_1 r_3 - E_2 = 0.$$

Cette formule peut s'écrire sous la forme :

$$(\sigma_1 + j\omega M_1)\, i_1 + i_1 r_3 - (\sigma_2 + j\omega M_2)\, i_2 = 0, \qquad (2)$$

qui, en tenant compte de (1), devient :

$$(\sigma_1 + j\omega M_1)\, R_2 + r_3 R_2 - (\sigma_2 + j\omega M_2)\, R_1 = 0.$$

Et, en égalant les composantes rectangulaires :

$$M_1 R_2 - M_2 R_1 = 0, \qquad (3)$$

$$(\sigma_1 + r_3)\, R_3 = \sigma_2 R_1. \qquad (4)$$

L'équation (3) donne l'inductance mutuelle inconnue M_2 en fonction de l'étalon M_1 ; l'équation (4) donne le « défaut » de M_2 en fonction de σ_1, qui est le « défaut » de l'inductance mutuelle étalon et de r_3.

Dans le cas d'inductances étalons, σ_2 a une valeur très faible ; pour le calculer d'une manière précise, il est nécessaire de tenir compte du fait que les bras de proportion R_1 et R_2 possèdent des inductances résiduelles l_1 et l_2 peu importantes. Alors, au lieu de la formule (1), on a :

$$i_1 (R_1 + j l_1 \omega) = i_2 (R_2 + j l_2 \omega).$$

En portant cette valeur dans la formule (2) et en égalant les composantes rectangulaires comme précédemment, il vient :

$$M_1 R_2 - M_2 R_1 + l_2 (r_3 + \sigma_1) - l_1 \sigma_2 = 0, \qquad (5)$$

et

$$(r_3 + \sigma_1) R_2 - \sigma_2 R_1 - l_2 M_1 \omega^2 + l_1 M_2 \omega^2 = 0. \qquad (6)$$

La formule (5) montre que la relation $M_1 R_2 = M_2 R_1$ subsiste tant qu'on peut considérer comme négligeables les petites quantités du second ordre. L'équation (6) peut être mise sous une forme plus commode, en tenant compte de la relation :

$$M_1 R_2 = M_2 R_1.$$

Il vient :

$$\frac{\sigma_2}{M_2 \omega} = \frac{\sigma_1}{M_1 \omega} + \frac{r_3}{M_1 \omega} + \frac{l_1 \omega}{R_1} - \frac{l_2 \omega}{R_2},$$

c'est-à-dire :

$$\delta_2 = \delta_1 + \frac{r_3}{M_1 \omega} + \alpha_1 - \alpha_2. \qquad (7)$$

où δ_2 et δ_1 sont les « erreurs de phase » des deux inductances mutuelles, et α_1 et α_2 les angles de phase des deux bras de proportion R_1 et R_2. Cette relation est valable tant que les petites quantités du second ordre sont négligeables. Évidemment, si l'on règle les bras de proportion de sorte que $\alpha_1 = \alpha_2$, il n'y a plus à tenir compte de la correction due à leurs inductances résiduelles.

Lorsque l'installation est montée comme l'indique la figure 2, les points *a* et *b* sont communs pour le variomètre M_2, et *c* et *d* sont communs pour M_1. Pour se rendre compte de l'effet obtenu en rendant communs d'autres points, il suffit d'inverser comme il convient les enroulements primaires ou secondaires. Lorsqu'on se propose de vérifier des variomètres dont un enroulement est

fixe, il faut intercaler cet enroulement sur le circuit primaire afin que l'équilibre de T_1 reste pratiquement le même pendant

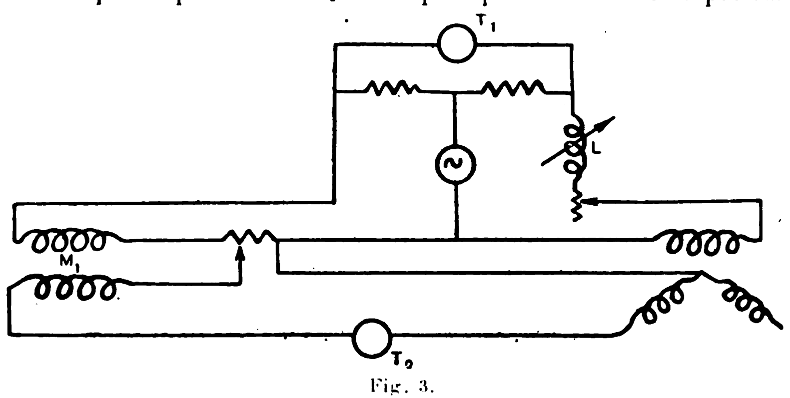


Fig. 3.

toute la durée de l'essai. D'ordinaire, les variomètres du type Campbell comportent une prise placée au point milieu du primaire ; lors des mesures d'inductance propre, on relie ce point à un point du secondaire. A cette condition, la méthode peut être

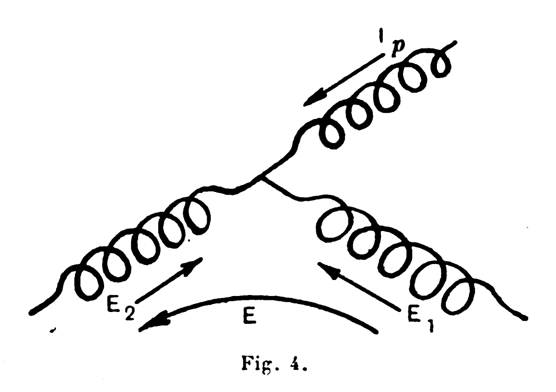


Fig. 4.

adaptée à la vérification des variomètres. La figure 3 représente la disposition à adopter. On mesure très exactement comme il est dit plus haut l'inductance mutuelle et le « défaut » entre le primaire et chacune des moitiés du secondaire ; si, pour les deux moitiés, on a les valeurs m_1, σ_1, et m_2, σ_2, on aura, pour l'ensemble du dispositif :

$$M = m_1 - m_2, \qquad \sigma = \sigma_1 - \sigma_2.$$

Le signe — apparaît ici du fait que, d'après la convention faite plus haut, les inductances mutuelles entre le primaire et les deux moitiés du secondaire sont de signes contraires. Sur la figure 4, I_p représente le courant primaire, E_1 et E_2 les forces électromotrices des deux moitiés du secondaire, et E la force électromotrice résultante du secondaire. Evidemment

$$\begin{aligned} E &= E_1 - E_2 = \\ &= I_p [\sigma_1 + j m_1 \omega - \sigma_2 - j m_2 \omega] = \\ &= I_p [\sigma + j M \omega]. \end{aligned}$$

En égalant les deux composantes, on obtient les relations indiquées plus haut.

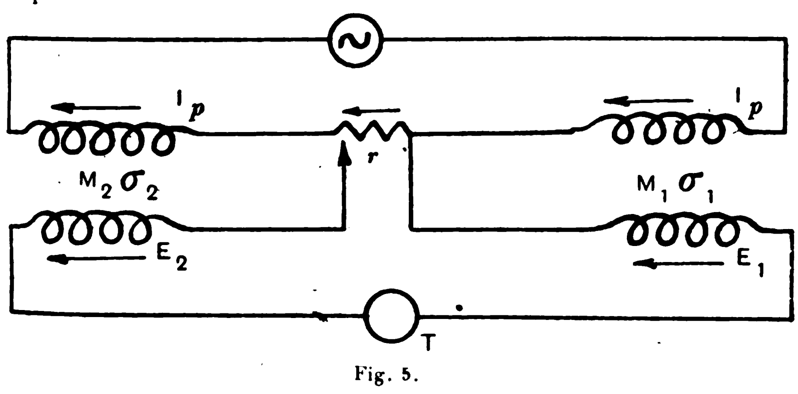


Fig. 5.

Si les deux inductances mutuelles à comparer sont égales (par exemple, lorqu'on étalonnera un variomètre par comparaison avec un étalon de même valeur), la méthode ci-dessus n'est pas nécessaire. La figure 5 représente le dispositif adopté. Dans ce cas, le même courant I_p traverse les deux enroulements primaires. L'équation vectorielle de l'équilibre est alors :

$$(\sigma_1 + j M_1 \omega) I_p + r I_p + (\sigma_2 + j M_2 \omega) I_p = 0,$$

d'où l'on déduit, comme condition d'équilibre :

$$\sigma_1 + r + \sigma_2 = 0, \quad M_1 + M_2 = 0.$$

En pareil cas, les deux inductances mutuelles doivent être de signes contraires. Avec la méthode préconisée pour des inductances mutuelles inégales, elles doivent être de même signe. Dans les deux cas, on peut être obligé d'inverser les points de potentiel sur la

résistance r, en vue de réaliser l'équilibre. Alors le signe de r, dans l'équation d'équilibre, change.

Causes d'erreur. — Elles sont les mêmes que pour tous les ponts servant à la mesure de l'inductance, à savoir :

1° Effets d'inductance mutuelle transversale entre les enroulements des différentes branches du pont;

2° Effets de capacité par rapport à la terre;

3° Effets des capacités des conducteurs sur les constantes des inductances auxquelles ils sont reliés ;

4° Effets d'induction entre le téléphone, source de courant, et les divers enroulements des branches du pont.

On évite les effets d'inductance mutuelle transversale entre les deux variomètres en disposant ceux-ci assez loin de l'autre. Ceci oblige à recourir à des conducteurs assez longs. La capacité de ces derniers influera sur la valeur des constantes des variomètres; cette influence ne doit pas être perdue de vue. On peut calculer les variations réelles dues aux conducteurs d'une capacité donnée, au moyen des formules indiquées par Butterworth [1]. Il faut, en général, choisir des conducteurs dont la capacité soit aussi faible que possible; les divers enroulements seront disposés de manière à éviter tout effet d'induction nuisible. La dispersion et la capacité par rapport à la terre seront peu importantes si l'on pose les appareils sur des blocs de paraffine. La source de courant doit être placée aussi loin que possible du pont; pour amener le courant au pont, on utilisera des cordons à deux conducteurs, enfermés de préférence dans une enveloppe de plomb mise à la terre. On peut se faire une idée des erreurs provenant des phénomènes d'induction entre la source du courant de mesure et le téléphone, ainsi que des effets de capacité par rapport à la terre, en procédant aux lectures après avoir interverti les conducteurs souples reliés à la source et au récepteur, et aussi après avoir changé la position du récepteur T_2 dans le circuit secondaire ou après avoir mis l'une des bornes à la terre.

Exemples. — Autant que les autres travaux en cours le permettent, on procède actuellement à une étude approfondie des

(1) BUTTERWORTH, *loc. cit.*

propriétés des variomètres aux fréquences téléphoniques. Les résultats obtenus feront l'objet d'une publication ultérieure; mais, pour souligner l'importance d'un étalonnage effectué dans des conditions convenables, nous donnons ci-dessous les résultats obtenus pour un variomètre Campbell dont l'inductance peut atteindre 100 millihenrys. La figure 6 représente le schéma de l'appareil : DB représente le primaire, A le point médian ; FE est le secondaire, composé de deux disques en décades et d'une bobine mobile. L'appareil a été vérifié par comparaison avec un variomètre de 10 millihenrys, dont les caractéristiques avaient été déterminées en appliquant la méthode Butterworth. Les valeurs indiquées au tableau ci-dessous montrent que, si le changement des points communs ne produit pas d'effet appréciable à la fréquence de 100 p/s, il en est autrement à la fréquence de 900 p/s. Si l'appareil sert à effectuer des mesures aux fréquences téléphoniques, il est essentiel de l'étalonner chaque fois qu'on y aura recours, d'après les conditions qui présideront à son emploi.

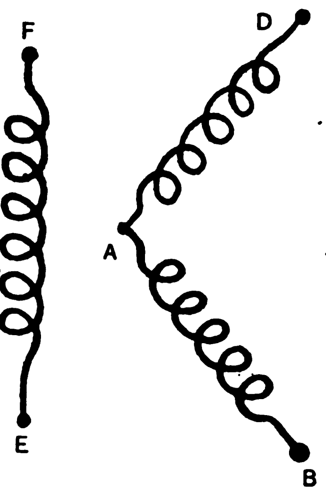


Fig. 6.

Inductance mutuelle effective d'un variomètre Campbell (100mH) suivant les conditions d'utilisation.

Indication du variomètre (en millihenrys)	Fréquence (en p/s)	Point commun	Inductance mutuelle réelle (en millihenrys)
100	100	AE	100,08
		AF	100,08
		DF	100,08
		DE	100,09
		BF	100,07
		BE	100,07
100	900	AE	100,93
		AF	100,06
		DF	101,22
		DE	100,89
100	1.800	AE	103,44

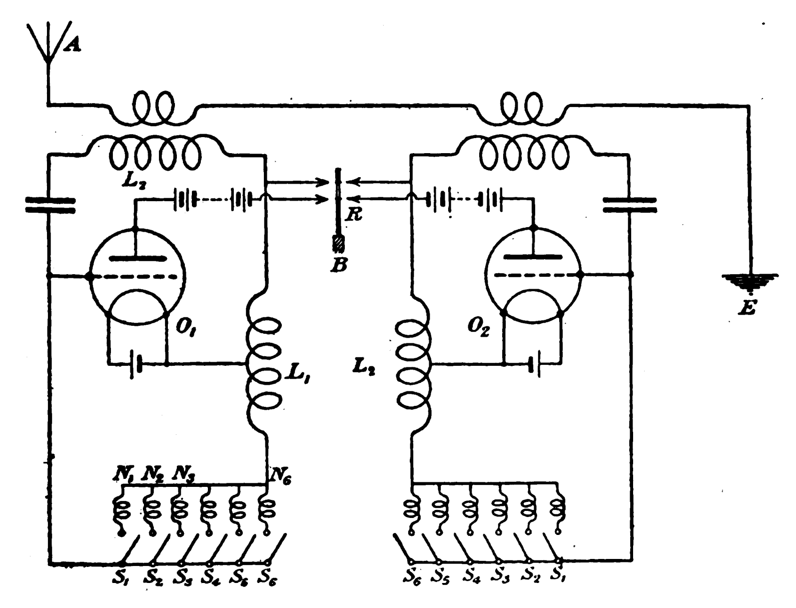
Une évaluation préalable du « défaut » de l'appareil, en prenant DE comme point commun, avait donné une valeur de 0 ,6 à la fréquence 1.000 p/s. Cette valeur correspond sensiblement à une « erreur de phase » de l'ordre d'un millième de radian, soit 3′ environ. Dans ces conditions, on voit que l'angle de phase de l'appareil est du même ordre que celui d'un condensateur ayant un facteur de puissance égal à 0,001.

Méthode électrique de production des sons de voyelles et son application à la radiotélégraphie (W. H. Eccles et C. F. A. Wagstaffe : *Proc. Phys. Soc. of London*, 15 décembre 1924). — L'appareil présenté a pour but de mettre à l'essai une nouvelle méthode de communication radiotélégraphique, dans laquelle les ondes transmises produiraient, dans un appareil récepteur convenable, des accords musicaux. On a pensé que des accords seraient plus aisément reconnaissables qu'un son pur, et que les sons de voyelles seraient les plus aisément reconnaissables de tous les accords.

Les auteurs se sont basés sur une analyse des fréquences contenues dans les sons vocaliques due à Sir Richard Paget. Soit, par par exemple, la voyelle A, émise sur la note de fréquence 250 (entre si_2 et ut_3). L'analyse montre que les fréquences 250, 800 et 1.300 sont prépondérantes, de sorte que, si l'on fait entendre simultanément ces trois fréquences, le son résultant a le timbre caractéristique de la voyelle A. (Dans le mémoire analysé, il n'est nulle part question des amplitudes relatives, qui doivent cependant jouer un certain rôle.)

L'ensemble émetteur-récepteur à réaliser doit être tel que, si l'on presse sur le bouton « A » de l'émetteur, le récepteur vibre avec les fréquences simultanées 250, 800 et 1.300 ; si l'on presse sur le bouton « O », l'appareil récepteur vibre avec les fréquences caractéristiques de la voyelle O ; et ainsi de suite. Ce résultat peut être obtenu de différentes manières. L'appareil représenté par la figure, et où l'on supposera les deux clefs S_1 abaissées, se compose de deux émetteurs à triode couplés entre eux et avec l'antenne. Les constantes des deux circuits et les couplages sont tels que l'un de

ces émetteurs a la fréquence 100.800, l'autre, la fréquence 101.300. Un vibreur B, de fréquence 250, ferme et ouvre alternativement les circuits-plaque des deux émetteurs. L'onde complexe ainsi émise interfère à la réception avec une hétérodyne locale de fréquence 100.000. Il en résulte des oscillations de fréquence 850 et 1.300,



alternant 250 fois par seconde. L'oreille, dont les praticiens du téléphone et de la radiodiffusion connaissent la merveilleuse bonne volonté, entend la voyelle A.

L'appareil comporte six paires de clefs $S_1, \ldots S_6$; une seule touche abaisse les deux clefs d'une même paire et modifie les constantes des deux émetteurs de la manière convenable. L'appareil peut donc émettre six voyelles.

Utilisé comme instrument de recherches, ou pour des expériences de cours, cet appareil, d'une réalisation élégante, est d'un vif intérêt. Mais que deviendrait le problème de la répartition des fréquences entre les nations, s'il fallait employer douze fréquences pour une communication de sens unique ?

INFORMATIONS ET VARIÉTÉS.

Stations espagnoles de T.S. F. projetées. — La société espagnole « Union-Radio » vient d'établir le programme de construction de ses stations de radio-diffusion. Ce programme s'étend sur les années 1925, 1926 et 1927 et comprend les stations suivantes :

Postes d'une puissance de 4 à 8 kilowatts : Madrid, Barcelone, Séville, Valence ;

Postes de 2 à 4 kilowatts : la Corogne, Oviedo, Santander, Bilbao, Saint-Sébastien, Saragosse, Murcie ;

Postes de 1/2 à 2 kilowatts : Pampelune, Sagrono, Valladolid, Salamanque, Grenade, Cordoue, Malaga, Cadix, Palma de Majorque, Santa Cruz de Teneriffe.

La répartition géographique et la puissance de ces stations ont été établies en tenant compte non seulement de l'importance des villes, mais encore de l'étendue et de la richesse des régions qui les entourent.

Exposition internationale de T. S. F. à Genève. — L'exposition internationale de T. S. F., cinématographie, machines parlantes, jouets scientifiques, etc..., dont la date a été définitivement fixée du 9 au 20 septembre, promet d'être une manifestation de grande envergure.

Des facilités et des avantages importants seront accordés tant aux exposants qu'aux visiteurs. C'est ainsi que les formalités douanières seront réduites au strict minimum, du fait que le local d'exposition sera considéré comme *port franc* durant toute la durée de la manifestation. D'autre part, les chemins de fer fédéraux ont obligeamment admis le *retour gratuit des marchandises* ayant figuré à l'exposition. Disons encore qu'une partie du bénéfice sera rétrocédé aux exposants.

Un bureau de renseignements ainsi qu'un office des logements compléteront les services auxiliaires.

BIBLIOGRAPHIE.

La télégraphie sans fil, par G.-E. Petit et Léon Bouthillon. Paris, librairie Delagrave. — Le livre que, cédant aux amicales sollicitations des auteurs, dit dans sa préface M. d'Arsonval, je présente aujourd'hui pour la troisième fois, est assez connu du public qui s'intéresse aux choses de la science pour qu'il soit superflu de vanter longuement ses mérites. Les auteurs n'ont eu d'autre ambition que d'exposer clairement les principes des radiocommunications, de décrire simplement et exactement leur technique, enfin de faire comprendre leur importance industrielle et sociale par l'étude détaillée de leurs applications. Le succès même de leur ouvrage montre qu'ils ont atteint leur but et rend inutile toute apologie.

Dans la littérature radioélectrique, si abondante et si variée, le livre de MM. Petit et Bouthillon tient une place bien à lui. Il n'est destiné particulièrement ni aux amateurs (les innombrables montages, les tours de main, les descriptions d'appareillage, qui constituent l'essentiel de la plupart des revues spéciales et de tant d'ouvrages, n'y occupent qu'un nombre de pages en rapport avec leur importance dans l'ensemble de l'industrie et de la science radioélectriques) ni aux techniciens (ceux-ci n'y trouveront qu'un raccourci insuffisant pour eux ; ils ont besoin d'ouvrages rédigés spécialement en vue de l'application industrielle) ni aux savants (si la science radioélectrique tient dans l'ouvrage une place importante, elle est néanmoins encore trop incertaine d'elle-même pour pouvoir être présentée en corps de doctrine au grand public, et des discussions scientifiques eussent débordé du cadre du livre).

Mais aussi bien les amateurs que les techniciens, aussi bien les savants que les amateurs, et même dans le but d'être en mesure d'explorer plus profondément leur domaine propre, ont besoin d'en sortir quelquefois pour contempler l'ensemble de la science et de la technique dont ils ne fouillent qu'une partie. Et le public éclairé,

sans être dévoré de la passion de l'amateur, sans avoir à connaître les détails de la technique, sans pouvoir suivre au jour le jour les tâtonnements de la science, a besoin d'ouvrages d'ensemble où il puisse trouver un exposé clair et concis des principes, une description simple de la technique, enfin l'étude des applications.

L'ouvrage de MM. Petit et Bouthillon a été conçu pour satisfaire à ces desiderata. Sous sa vieille forme, l'édition présente est en réalité un ouvrage nouveau. Les progrès de la télégraphie sans fil ne laissent pas de répit aux auteurs : chaque édition du livre en amène un remaniement complet.

Au point de vue scientifique, le chapitre sur la propagation a été largement retouché. La propagation des ondes, pour employer l'expression des auteurs, est le fondement même et le phénomène essentiel de la radioélectricité. Son étude domine toute la science et toute la technique des radiocommunications. On ne s'étonnera donc pas que le chapitre qui lui est consacré ait été remis au point avec le plus grand soin. On notera en particulier la description des résultats obtenus par la marine française dans la croisière de l'Aldébaran, en 1919-1920. L'exposé théorique a été, lui aussi, repris ; enfin les conséquences pratiques et l'étude de la propagation sont précisées.

Les ondes courtes et les ondes très courtes, d'abord abandonnées aux amateurs comme un domaine que pouvait négliger la télégraphie sans fil officielle, sont maintenant à l'ordre du jour. Elles sont déjà utilisées pour des communications lointaines, et les années qui viennent marqueront sans doute le développement de leur technique et des services qu'elles peuvent rendre. Un chapitre entier leur est consacré, où l'on étudie leur production, leur réception, les procédés de direction qui leur sont applicables, enfin les résultats qu'elles ont déjà permis d'obtenir.

L'exposé des principes, qui fait l'objet du premier chapitre, est remarquable par sa clarté et sa précision. Il est reproduit dans cette édition sans changements importants.

Au point de vue technique, les remaniements ont été beaucoup plus nombreux.

Le chapitre sur les antennes a été complété par l'étude des

pertes dans les prises de terre, problème si important pour les grandes stations, et l'exposé des procédés récemment employés pour les diminuer.

L'étude des méthodes de transmission, qui constitue le chapitre IV est, en fait, à quelques pages près, entièrement originale. Les systèmes à ondes amorties, maintenant abandonnés dans les stations fixes, mais qui constituent l'élément essentiel des postes de bord, maintenant si nombreux, ainsi que des postes côtiers qui correspondent avec elles, sont d'abord examinés. Les principes des différentes méthodes sont exposés ; les auteurs s'étendent naturellement davantage sur le plus employé, celui où le circuit de charge du condensateur est alimenté par du courant alternatif ; l'exposé de la théorie en a été modifié, pour tenir compte des résultats des études récentes de M. Léon Bouthillon.

Dans tous les postes installés ailleurs que sur des navires ou ceux qui correspondent avec eux, les ondes entretenues règnent sans conteste. On ne s'étonnera donc pas qu'un nombre de pages relativement important leur soit consacrées. Quoiqu'il soit rarement installé dans les stations nouvelles, l'arc tient encore, dans les stations existantes, une place considérable, surtout sous les formes américaine et française : la première se trouve en particulier, en France, à la station française de Croix-d'Hins. On trouvera dans l'ouvrage, pour la première fois, croyons-nous, en France, la description détaillée des arcs français et des arcs américains.

Même à Croix-d'Hins, l'arc a dû s'incliner devant l'alternateur à haute fréquence, qui constitue maintenant l'élément essentiel des stations les plus puissantes récemment installées. Sous ses deux formes principales : machine américaine d'Alexanderson, machine française de Marius Latour, le système est complètement décrit. Dès 1911, M. Léon Bouthillon avait montré la possibilité d'obtenir de la haute fréquence au moyen d'alternateurs en faisant tourner un inducteur à l'intérieur d'un induit à nombre de bobines différent de celui des pas polaires de l'inducteur. La machine de M. Marius Latour applique, dans un cas particulier, le principe. Elle a été répandue à travers le monde par la Société française radio-électrique et constitue la partie essentielle du matériel français, dont l'éloge se

retrouve dans les revues étrangères les moins suspectes de partialité. Il était naturel qu'un ouvrage français en contînt la description complète. A la machine américaine Alexanderson, qui est, pour sa rivale française, un rude compétiteur, sont également consacrées plusieurs pages. Reste enfin le système employé en Allemagne, en particulier à la grande station de Nauen, dans lequel la fréquence relativement basse produite par un alternateur est multipliée au moyen de transformateurs statiques spéciaux. Une page est consacrée également aux transformateurs de fréquence de M. Latour.

Après l'étude d'ensemble des lampes à trois électrodes, qui a été développée en proportion de l'importance du sujet, vient la description des principaux types; sont décrites, en particulier, la lampe Holweck et la lampe de grande puissance de la Société française radioélectrique. Les différents montages d'émission sont ensuite exposés et analysés.

L'énergie transmise à l'antenne doit être manipulée ou modulée. Les méthodes sont nombreuses; l'appareil Wheatstone et ses dérivés, qui permettent la manipulation à grande vitesse avec perforation préalable, se sont imposés, depuis quelques années, à toutes les stations importantes. Leur principe est donné à la fin du chapitre consacré à l'émission.

Le chapitre consacré à la réception diffère, à de nombreux points de vue, de ceux qu'on trouve dans les ouvrages destinés aux amateurs. Il ne s'agit pas ici de détails de montage, de tours de main, de descriptions de pièces d'appareil, mais d'un exposé des principes et de leurs applications, destiné avant tout à faire comprendre en même temps qu'à donner un tableau complet de l'art si délicat de la réception radioélectrique, tableau non pas limité aux postes d'amateurs, mais comprenant toutes les stations radio-électriques, y compris les plus importantes.

Toutes les sections du chapitre ont été, depuis l'édition précédente, l'objet de nombreuses additions et de profonds remaniements. A propos de l'étude de la syntonie, sont donnés les principes de la réaction et de la superréaction. Les pages consacrées aux détecteurs ont été revues; celles qui exposent les principes de la détection au moyen des lampes ont été écrites entièrement à nou-

veau. Sont examinés successivement les deux types d'amplificateurs, l'application de la superréaction à la réception des ondes entretenues, enfin les méthodes de réception à grande vitesse; l'appareil Creed, qui permet l'impression des signaux en caractères typographiques, est étudié en détail. Le chapitre se termine par la description de quelques postes de réception ; celle de la réception S.F.R. du type 1922 montre comment les éléments étudiés dans les pages précédentes peuvent se combiner en un ensemble complexe où tous les moyens de lutte contre les parasites et les interférences sont heureusement combinés.

Tous les progrès que nous sommes amenés, à l'occasion du livre que nous analysons, à constater dans la technique des radiocommunications, ont été motivés par le développement des *applications de la radioélectricité*. En abordant la partie de leur livre qui concerne spécialement celles-ci, les auteurs commencent par distinguer les deux plus importantes: télégraphie et téléphonie, les caractériser, en indiquer les principes. Les divers problèmes que soulève la radiophonie (modulation des oscillations de haute fréquence, exploitation en duplex, liaison avec le réseau, syntonie) sont successivement examinés. La réunion, dans un tableau comparatif, des principales caractéristiques de la télégraphie et de la téléphonie sans fil, fait ressortir leurs points communs et leurs différences.

Les applications des radiocommunications ont rapidement augmenté, depuis quelques années, en importance et en nombre. La première de toutes, l'application à la *navigation maritime*, garde les mêmes caractères qu'au début de la télégraphie sans fil. Des progrès s'obtiennent toutefois. L'usage des radiogoniomètres à bord se répand ; les postes d'émission et de réception à ondes entretenues sont de jour en jour plus nombreux. Toutes ces questions sont traitées dans le livre. On y trouve également la description détaillée du type le plus récent du poste S.F.R., le plus répandu de beaucoup dans la marine de commerce française, ainsi que du poste de la Société indépendante de télégraphie sans fil.

Les pages consacrées à la *navigation aérienne* sont entièrement nouvelles; on y trouve la description de l'antenne, l'indication

des moyens d'assurer la constance de la vitesse dans la commande par hélice, les caractéristiques de l'émission et de la réception à bord des avions. Le poste d'aéroplane de la Société indépendante de télégraphie sans fil est décrit, ainsi que deux types de postes d'avions de la Société française radioélectrique.

On pourrait presque en dire autant du chapitre important consacré aux *relations entre points fixes.* Ce n'est que tout récemment que les grands centres radioélectriques ont trouvé leur organisation définitive. Le peu qui ait été fait jusqu'ici officiellement par l'Union télégraphique internationale, qui est, comme tous les organismes de ce genre, douée d'une inertie considérable, est tout d'abord exposé. Dans la section suivante, sont démêlées les caractéristiques essentielles des radiocommunications, caractéristiques qui commandent l'organisation des stations et la marche de l'exploitation. Sont ensuite étudiées les considérations qui font choisir entre les divers systèmes de transmission, les raisons qui ont conduit à l'adoption universelle des ondes entretenues, celles qui font préférer dans tel ou tel cas un arc à haute fréquence, un alternateur, un poste à lampe. Est exposée enfin l'organisation des services d'un grand centre radioélectrique, qui constitue probablement le progrès le plus important des dernières années. Elle comporte le groupement, dans un premier ensemble, des postes d'émission; dans un deuxième, des postes de réception; dans un troisième, des systèmes de commande et d'enregistrement. C'est cette organisation qui vraiment a fait de la télégraphie sans fil à grande vitesse un concurrent redoutable pour les câbles télégraphiques; elle est décrite complètement dans ce livre par des techniciens qui ont pris part à son élaboration. Les sections suivantes montrent comment la pratique a sanctionné les principes et font voir l'importance des applications. Elles sont consacrées à la description des grands centres radioélectriques les plus importants et les plus typiques : ceux de Sainte-Assise et de Villecresnes, de Croix-d'Hins, en France; de la Compagnie Marconi, en Angleterre; de la Radio corporation of America, aux États-Unis; de la Compagnie Telefunken, en Allemagne. A la *téléphonie sans fil entre postes fixes* est consacrée la fin du chapitre; le type des postes

de la Société française radioélectrique est décrit; un exemple d'un réseau radioélectrique, prolongé par un réseau par fil important, est donné, avec la liaison Avalon — Los Angeles, qui a fonctionné pendant plusieurs années.

Le chapitre sur les postes d'amateurs est l'occasion, pour les auteurs, d'étudier les *ondes courtes*, leurs principales caractéristiques, leur technique, les résultats d'essais ; les ondes très courtes sont l'objet d'un exposé spécial.

Enfin sont décrits les services de diffusion : diffusion télégraphique assurée pour la plus grande partie par le poste de la tour Eiffel avec ses signaux horaires, ses télégrammes météorologiques, ses signaux d'intérêt scientifique, ses émissions d'ondes étalonnées, ses services de presse, ses télégrammes sismologiques ; à la diffusion téléphonique, qui est le plus grand progrès du jour, on ne s'étonnera pas que soit consacrée une importante section où sont étudiés successivement l'organisation technique des radiocommunications, les principaux postes français d'émission (tour Eiffel, École supérieure des Postes et des Télégraphes, Compagnie française de radiophonie), enfin les méthodes de réception.

L'ouvrage se termine par un chapitre sur la transmission des images (où sont donnés, en particulier, les principes du système Belin) et sur la télémécanique sans fil.

Leçons sur l'électricité, professées à l'Institut électrotechnique Montefiore [annexé à l'Université de Liège] : Tome premier, Lois fondamentales de l'électricité et du magnétisme, mesures électriques et magnétiques, par Éric Gérard. Neuvième édition, revue et mise à jour par Léon Bouthillon, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes, répétiteur à l'École Polytechnique. — Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1925. — 1 vol. in-8° de x + 509 pages. Prix : 40 francs.

Eric Gérard naquit à Liège en 1857; il sortit de l'École des mines de Liège en 1879 avec le grade d'ingénieur honoraire des mines, entra comme ingénieur dans l'administration belge des télégraphes, fut délégué à Paris en 1881 au congrès d'électricité et y rencontra Georges Montefiore Lévi. Un cours d'électrotechnique, ayant été créé à l'école des mines de Liège, fut confié à Eric Gérard,

qui avait fréquenté à Paris l'École supérieure des télégraphes. A cette époque, le directeur était Blavier, le sous-directeur Mercadier, le professeur d'électricité Raynaud, docteur ès sciences, le répétiteur chargé des exercices de mesures Vaschy. En 1891, l'Institut électrotechnique Montefiore se fonda. Déjà en 1890, Eric Gérard avait publié ses *Leçons sur l'électricité*. Ce livre présentait, sous une forme claire et attrayante, les théories et les applications les plus récentes. Il eut un succès universel bien mérité. Parurent ensuite un traité des Mesures électriques, puis, en collaboration avec M. O. de Bost, un ouvrage sur les applications. Eric Gérard parvint en 1914 à quitter la Belgique envahie et à se réfugier en Hollande. Il gagna ensuite Paris, et c'est là qu'il mourut quelques mois après son arrivée.

Les *Leçons sur l'électricité* d'Eric Gérard ont toujours été tenues par lui au courant du progrès; c'est ce qui a assuré à cet ouvrage la permanence de sa vogue. C'est donc respecter les intentions de l'auteur que de rajeunir ses *Leçons*, pourvu qu'on en conserve l'ordre, l'élégance, la simplicité, et qu'on ne remanie le texte qu'avec tact et prudence. Ce travail a été opéré avec compétence et discrétion par M. Léon Bouthillon pour le tome premier dont il est question ici. L'édition nouvelle diffère des précédentes par une refonte complète de la théorie des ondes électromagnétiques et par l'addition d'une partie nouvelle où sont étudiées la science de l'électron et ses principales applications.

Nous avons lu avec un intérêt tout particulier les chapitres nouveaux. M. Bouthillon est répétiteur à l'École Polytechnique. Nul ne peut donc être mieux placé que lui pour savoir ce qu'il est véritablement essentiel d'enseigner et quelle est la meilleure méthode à adopter. Il a réussi pleinement.

L'étude expérimentale des ondes électromagnétiques nous familiarise d'abord avec les phénomènes prévus par Maxwell, découverts par Hertz, reproduits aujourd'hui, grâce aux oscillateurs à lampes, par Gutton et par Mesny, dans des conditions de facilité démonstrative inconnues auparavant. Ensuite M. Bouthillon donne le principe de la théorie des interférences, établit les équations de Maxwell sous la forme que leur a donnée Hertz, étudie la propagation

des ondes planes, le cas de la réflexion normale sur un plan conducteur, et démontre la localisation des courants de haute fréquence à la surface des masses métalliques.

Il passe à l'étude des rayonnements corpusculaires et électromagnétiques. L'élément simple et fondamental, c'est l'électron. C'est lui qui apparaît dans l'émission thermionique, lui qui constitue les rayons cathodiques, lui que libère l'effet photoélectrique. M. Bouthillon nous montre que ces rayonnements sont de nature corpusculaire, qu'on peut déterminer la vitesse des corpuscules, l'action du champ magnétique sur leur trajectoire, l'action déviatrice analogue du champ électrique, l'énergie cinétique des électrons, leur charge totale, leur charge individuelle, la nature de leur masse, la variabilité de cette masse avec la vitesse.

Il définit les rayons canaux et α, les rayons X et γ, et nous initie à la radioactivité.

Mais la matière réagit sous le rayonnement qui la frappe, et les rayonnements corpusculaires ou électromagnétiques subissent des transformations réciproques. C'est la théorie des quanta qui vient mettre de l'ordre dans ces phénomènes.

Une théorie électronique élémentaire des métaux donne l'explication de la loi d'Ohm, de la loi de Joule, de l'électricité de contact.

Beaucoup plus compliquée est la décharge électrique dans les gaz, mais il est fort important de connaître les lois de la décharge disruptive.

Il est également nécessaire de connaître la caractéristique de l'arc électrique et la répartition du potentiel dans l'intervalle entre l'anode et la cathode.

Tous ces points sont examinés de la façon la plus simple et la plus claire, tout-à-fait en conformité avec l'esprit d'Eric Gérard.

On peut dire, en résumé, que ces leçons doivent trouver leur place dans la bibliothèque électrotechnique de tous les ingénieurs et de tous les électriciens.

J.-B. P..

Installations téléphoniques, guide pratique à l'usage du personnel des Postes, Télégraphes et Téléphones



et des monteurs électriciens, par J. Schils, directeur honoraire des Postes et des Télégraphes. Cinquième édition, revue et mise à jour par C. Cornet, ingénieur en chef des Télégraphes, directeur des cours aux ateliers des P.T.T. — Paris, Dunod, éditeur, 1925. — Un vol. de vi + 381 pages avec 243 fig. Prix : relié, 28 fr. ; broché, 22 fr.

On a conservé à cet ouvrage son caractère simple et pratique, tout en le complétant pour le tenir au courant de l'évolution de la technique téléphonique. L'extension des installations à batterie centrale a nécessité des développements nouveaux, aussi bien en ce qui concerne les postes d'abonnés que les tableaux commutateurs. Des additions ont été introduites sur les dispositifs de protection, les entrées de poste, et les répartiteurs. Dans un chapitre spécial, les auteurs donnent une idée simple des procédés les plus modernes employés pour améliorer la propagation des courants téléphoniques et augmenter le rendement des lignes. De nouveaux appareils sont décrits : relais de coupure à distance, appareils à sous, etc... Enfin la téléphonie automatique prend de l'importance et en prendra chaque jour davantage : ses principes généraux sont exposés dans cet ouvrage, sans schéma car les systèmes sont nombreux et la complication des mécanismes et câblages est souvent extrême. En un mot, cet ouvrage constitue le vade-mecum indispensable aux entrepreneurs et aux monteurs d'installations téléphoniques.

Extrait de la table des matières.

Le Gérant, Léon EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS. — 1925.

14e ANNÉE. — N° 8. AOUT 1925. PRIX : 3 fr. 50

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 RUE THENARD PARIS, Ve.

Prix de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger......... 44 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

AVIS

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une Commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette Commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VIIe.

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

UN NOUVEL OSCILLOGRAPHE ÉLECTROMAGNÉTIQUE ET SON APPLICATION

AUX

MESURES EN COURANT ALTERNATIF,

Par Raymond DUBOIS,

Attaché au laboratoire du ministère de la Marine à Toulon (1).

Ayant entrepris depuis plusieurs années des recherches d'acoutisque aérienne et aussi sous-marine, j'ai été rapidement gêné par le manque d'appareils de mesure pour les courants alternatifs faibles, comme ceux qui circulent normalement dans les téléphones. Les difficultés sont particulièrement grandes lorsqu'il s'agit d'étudier des courants non-périodiques, variant suivant des lois très compliquées, et d'intensité généralement inférieure au milliampère.

Les enregistrements oscillographiques offrent une solution tentante, puisqu'ils permettent de connaître immédiatement toutes les grandeurs intéressantes. Malheureusement, les oscillographes existants ne conviennent pas à des courants aussi faibles : ils sont généralement de sensibilité insuffisante, par suite du fait qu'ils comportent un bifilaire (Duddell, Blondel) qui est un cadre d'une spire, ce qui ne donne qu'un milliampère-tour pour un courant d'un milliampère. Leur faible résistance et leur très faible self-induction sont très précieuses pour les montages dans lesquels ils peuvent être traversés en série ; mais il faut que les intensités soient au moins de 10 milliampères pour donner lieu à des courbes lisibles, la sensibilité la plus grande ne dépassant pas un millimètre par milliampère.

On peut remarquer qu'à moins d'utiliser des triodes plus puissantes que les lampes de réception de T.S.F., les amplifi-

---

(1) Conférence faite à l'École professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes le 13 février 1925.

cateurs à lampes ne permettent pas de compenser ce défaut de sensibilité, sauf lorsqu'il est possible de se servir d'un transformateur de sortie, car dans ce dernier cas on peut abaisser les tensions en multipliant les intensités. Or il existe de nombreux cas nécessitant l'enregistrement d'un courant ondulé, c'est-à-dire dans lequel coexistent une composante continue et une composante alternative. Dans les enregistrements de ce genre, le transformateur est inacceptable, car il élimine la composante continue. D'une manière plus générale, un transformateur de sortie altérera la grandeur et la phase des composantes de fréquence différente constituant un courant complexe.

Pour obtenir un oscillographe suffisamment sensible pour permettre l'étude correcte des courants téléphoniques, j'avais d'abord songé à utiliser un téléphone en rendant inscriptibles les mouvements de la membrane. Pour cela, j'avais choisi le téléphone Baldwin, dont le principe permettait d'espérer que les déplacements seraient très sensiblement proportionnels à l'intensité instantanée du courant. Les premiers appareils réalisés à partir de cette idée donnèrent des résultats intéressants. Je ne parlerai pas de ces premiers essais, que j'ai décrits dans le *Journal de physique* (août 1923 : p. 272 à 280).

Les principaux inconvénients de cet appareil, qui peut cependant servir d'oscilloscope pour quelques applications, étaient dus aux imperfections de la monture de téléphone Baldwin qui était conservée dans l'appareil. Dans ce téléphone, les pièces polaires ne sont pas feuilletées ; elles sont le siège de courants de Foucault rapidement croissants qui interdisent pratiquement de dépasser les fréquences de l'ordre de 1.200 à 1.500 périodes par seconde. Au régime apériodique, la sensibilité, quoique très supérieure à celles des oscillographes à bifilaire, n'était pas encore suffisante pour certaines applications, et surtout elle variait notablement avec la fréquence.

J'ai été amené alors à discuter d'une manière beaucoup plus poussée le problème de l'oscillographe à grande sensibilité. Les conditions étaient en somme les suivantes :

1° réaliser la plus grande sensibilité possible aux fréquences

inférieures à 3.000 p. s.$^{-1}$, cette sensibilité devant rester aussi constante que possible quand la fréquence augmente ;

2° l'oscillographe, étant destiné à fonctionner dans un circuit-plaque de lampe ordinaire de réception, devra avoir une résistance et une self-induction telles, que le fonctionnement de la lampe reste régi par une loi de proportionnalité entre les variations de courant-plaque et les tensions-grille.

La grande sensibilité ne peut être atteinte par les appareils à cadre, dont l'inertie croît d'une manière prohibitive avec le nombre de spires. Dans cette voie, la discussion conduit au bifilaire, qui est actuellement réalisé d'une manière trop parfaite dans le Blondel ou le Duddell pour qu'aucun progrès notable puisse être espéré.

Pour utiliser un grand nombre de spires sans augmenter l'inertie, il faut qu'elles soient fixes, leur flux seul étant, si j'ose dire, mobile. Ceci suppose qu'on canalise le flux par un organe très perméable : on arrive ainsi infailliblement à l'oscillographe à fer.

De toutes les manières d'utiliser le fer (ou plus exactement les alliages ferro-magnétiques), celle qui donne à la fois la plus grande force motrice pour la plus faible inertie de la pièce mobile, tout en conservant la proportionnalité entre les forces et les flux magnétiques, consiste à utiliser une palette de fer plongée dans un champ uniforme perpendiculaire à son plan, cette palette pouvant tourner autour d'un axe XX′ (fig. 1) situé dans son plan, et recevant une aimantation proportionnelle au courant par un enroulement fixe dont les spires sont parallèles à l'axe et au champ constant. Ce dispositif électromagnétique existe dans un grand nombre d'appareils : dans certains relais polarisés, comme les relais Creed, dans le téléphone Baldwin, le haut-parleur de la Western, etc...

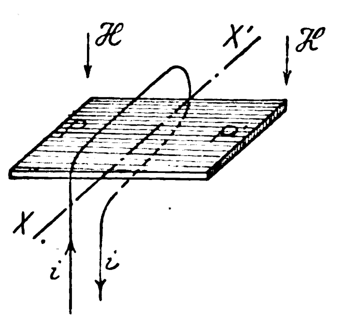


Fig. 1.

Il s'agissait, pour faire un bon oscillographe, de résoudre un certain nombre de problèmes spéciaux. Il fallait :

1° obtenir une *fréquence propre élevée* sans nuire à la sensibilité, donc *réduire l'inertie* au minimum ;

2° obtenir la proportionnalité des déplacements instantanés et des courants instantanés, ceci demandant que :
les flux soient proportionnels aux courants,
les forces proportionnelles au flux,
les déplacements proportionnels aux forces ;

3° obtenir *l'amortissement le plus convenable.*

1° La fréquence élevée a été obtenue par l'artifice suivant. Réduire l'inertie ne consiste pas forcément à diminuer les moments d'inertie : il peut être plus avantageux de réduire la grandeur du déplacement, si l'on peut ensuite l'amplifier sans introduire d'organes ajoutant une inertie notable.

Le calcul détaillé des dimensions de l'oscillographe conduit à utiliser une palette relativement grande (elle mesure en effet 16^{mm} de longueur sur autant de largeur), mais en ne lui laissant prendre qu'une amplitude minuscule. Cette dernière ne dépasse jamais, en effet, 60 microns (millièmes de millimètre), grâce à un ressort puissant qui lui impose une fréquence propre de l'ordre de 3.000 périodes par seconde.

L'amplification s'effectue ensuite par un organe très simple : un ruban d'acier extrêmement mince est attaché à la palette, s'enroule d'un demi-tour sur un axe portant un miroir, et le fait tourner d'un angle d'autant plus grand que le rayon de l'axe est plus faible. L'extrémité du fil est rappelée par un ressort tendeur, et tous les jeux sont évités par l'emploi de couteaux aux articulations de l'axe. Il n'y a aucun pivot dans l'appareil, car les jeux les plus faibles, de l'ordre du micron par exemple, introduiraient, du fait de l'amplification, des erreurs de l'ordre de 8 millimètres sur le tracé. Les frottements sont pratiquement inexistants, parce que toutes les déformations se font élastiquement, sauf la rotation de l'axe du miroir qui se fait sur de minuscules couteaux d'acier. Les frottements sont si faibles

que, lorsqu'on excite par choc les vibrations de l'appareil avant de l'avoir amorti, on peut enregistrer, pour une amplitude initiale de l'ordre du centimètre, plusieurs centaines d'oscillations restant supérieures au millimètre.

On amplifie ensuite optiquement par la méthode de Poggendorff. Sur l'axe à couteau est collé un miroir concave dont le rayon de courbure est de l'ordre du mètre, et dont les dimensions, comparées à celle d'un miroir pour bifilaire Duddell, sont colossales : 3 millimètres de largeur et 10 millimètres de longueur (Duddell : $0^{mmq},6$). On gagne ainsi très largement sur la luminosité du spot, au point que la source lumineuse peut être un simple trou d'aiguille, éclairé par une lampe à incandescence pour les observations à l'œil, ou par un arc pour la photographie. Aucune lentille, ni sphérique, ni cylindrique, n'est nécessaire.

L'inertie du miroir n'est pas gênante, parce que celle de la palette est déjà telle, qu'on gagnerait peu à réduire celle du miroir : la démultiplication par le ruban, qui donne au miroir des déplacements angulaires 15 fois plus grands que ceux de la palette, multiplie naturellement l'importance de l'inertie propre du miroir : le calcul montre que l'amplification maximum est atteinte, à fréquence propre donnée, quand le moment d'inertie du miroir, ramené à l'axe de la palette, est égal à celui de cette dernière. L'intérêt de l'emploi d'un grand miroir est qu'il rend possible l'obtention d'oscillogrammes directement sur papier sensible avec des vitesses linéaires du spot dépassant 120 mètres par seconde. Pour une tache lumineuse de 5/10 de millimètre, cela représente le temps de pose prodigieux de 4 millioniènes de seconde pour les grains de l'émulsion ; on obtient encore, dans ces conditions, un beau trait lisible sur papier Lumière négatif (avec un miroir de 2 mètres de rayon de courbure éclairé par un trou de 5/10 de millimètre. L'amplification finalement obtenue avec un tel miroir est telle, qu'un déplacement d'un micron de l'extrémité de la palette donne un déplacement de 8 millimètres sur le papier, donc 8.000 fois plus grand.

2° La proportionnalité de ces déplacements au courant qui les provoque a été plus difficile à obtenir.

Il fallait tout d'abord obtenir des flux proportionnels à l'intensité du courant, puis supprimer ou tout au moins atténuer les effets déplorables de l'hystérésis, des courants de Foucault et enfin d'un phénomène encore peu connu mais que l'oscillographe m'a révélé dès les premiers essais : la *viscosité magnétique.* Ce dernier phénomène diffère de l'hystérésis en ce sens que l'hystérésis n'est pas un retard dans le sens exact du mot : l'aimantation conserve le souvenir de l'histoire magnétique du milieu perméable : elle n'est pas la même pour un champ croissant que pour un champ décroissant ; mais ce phénomène n'introduit pas de retard dans le temps. Ce n'est qu'une représentation mathématique, d'ailleurs très commode, qui transforme, pour les courants périodiques, l'hystérésis en un retard dans le temps, et, dans cette représentation même, ce n'est qu'indirectement que le temps intervient, par l'intermédiaire de la phase des flux par rapport à celle des courants. La viscosité magnétique, au contraire, fait intervenir le temps lui-même : *l'aimantation ne prend pas instantanément sa valeur définitive dans les corps ferro-magnétiques.* M. Lapp a montré récemment qu'un cycle d'aimantation du fer doux relevé lentement diffère notablement du cycle relevé en 1/10 de seconde. Lorsqu'on fait varier l'aimantation 3.000 fois par seconde, le phénomène devient d'une importance capitale, et j'ai rencontré presqu'immédiatement cette difficulté dans mes premières expériences. Voici comment se présente le phénomène. Si l'on développe une force magnéto-motrice instantanée, le flux atteint aussitôt une valeur qui semble bien définie, puis il augmente lentement suivant une loi vaguement exponentielle, pour prendre une valeur beaucoup plus grande, par exemple trois fois plus grande. Le résultat est qu'un oscillographe à fer doux donne, dans ces conditions, une sensibilité trois fois plus grande en courant continu qu'en courant alternatif à 100 périodes. A 25 périodes, la chute de sensibilité peut atteindre la moitié, ce qui montre combien le phénomène est lent. J'ai vu des fers demandant plusieurs secondes pour que le flux normal soit obte-

nu. Les fers doux ne présentent pas seuls ce phénomène : il est plus ou moins marqué, mais il existe dans tous les alliages à base de fer. Un alliage qui le présente d'une manière vraiment négligeable aux fréquences téléphoniques est le ferro-silicium, et j'ai pu éviter complètement ce défaut par l'emploi de tôles spéciales, riches en silicium.

D'autre part, pour réduire l'hystérésis il faut que le métal soit à faible champ coercitif, et le circuit magnétique doit présenter des entrefers suffisants pour que le facteur démagnétisant soit notable.

Pour que l'aimantation soit linéaire en fonction de l'intensité du courant, il faut que la réluctance soit constante en fonction du champ et aussi du déplacement. Cette dernière condition est réalisée géométriquement dans l'appareil : le flux traverse deux entrefers dont la somme est constante. La première condition suppose des matériaux magnétiques très perméables, ayant une perméabilité initiale grande et une saturation très élevée ; enfin il faut donner à la réluctance d'entrefer une grande prépondérance sur celle du fer.

Pour éviter les courants de Foucault, il faut feuilleter et, de plus, utiliser pour la palette un métal de très grande résistivité électrique.

Comme celle-ci doit, en outre, être mécaniquement très rigide, le nombre des conditions à remplir est a priori un peu décourageant.

Pourtant, après plusieurs années d'efforts, le problème a été complètement résolu : actuellement, l'oscillographe dont je décrirai plus loin le schéma donne une sensibilité pouvant atteindre 50 millimètres par milliampère, et cette sensibilité est la même à la fréquence 1.500 qu'à 25 périodes ou en courant continu.

L'hystérésis n'est pas décelable sur les courbes [1], et des

---

(1) Voy. la sinusoïde du secteur à 25 périodes de Toulon, dont l'oscillogramme est reproduit ; aucune déformation de la courbe par hystérésis n'est perceptible.



mesures précises ne montrent aucun effet démagnétisant des courants de Foucault à 2.000 périodes.

La proportionnalité des forces aux flux résulte du principe de l'appareil. La loi d'attraction de Maxwell donne, pour les dispositifs montés comme les téléphones ordinaires, une force : $F = \frac{B^2 S}{8\pi}$, qui fait intervenir le carré des flux puisque B^2 est le carré de l'induction. On évite dans les téléphones, par l'aimantation permanente des noyaux de l'électro-aimant, le double-

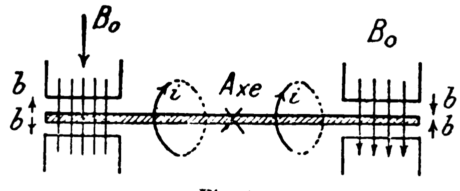


Fig. 2.

ment des fréquences qui résulte du fait que l'induction intervient par son carré. L'induction est alors de la forme :

$$B = B_0 + b \sin \omega t,$$

et lorsque l'induction permanente B_0 est grande devant l'induction variable b, le carré exact :

$$B^2 = B_0^2 + 2 B_0 b \sin \omega t + b^2 \sin^2 \omega t$$

se réduit, en première approximation, à :

$$B^2 = B_0^2 + 2 B_0 b \sin \omega t,$$

dont la partie variable est $2 B_0 b \sin \omega t$, qui est proportionnelle à $b \sin \omega t$. L'approximation est suffisante pour l'oreille : elle ne peut l'être pour l'oscillographe, car aux grandes amplitudes b^2 n'est plus négligeable devant $B_0 b$. C'est pourquoi le principe du téléphone ordinaire se prête mal à la réalisation d'un oscillographe parfait.

Au contraire, la palette oscillante permet de développer le couple moteur sans introduire de terme carré.

Appelons b l'induction dans les entrefers, développée par le courant i qui magnétise la palette. Les inductions deviennent $(B_0 - b)$ et $(B_0 + b)$. Les attractions opposées s'exerçant sur l'une des extrémités sont :

$$\frac{(B_0 + b)^2 S}{8\pi} \quad \text{et} \quad \frac{(B_0 - b)^2 S}{8\pi}.$$

Leur résultante sur une extrémité est :

$$\left[(B_0 + b)^2 - (B_0 - b)^2\right]\frac{S}{8\pi} = \frac{4 B_0 b S}{8\pi} = \frac{B_0 b S}{2\pi}.$$

Cette fois, aucun terme n'a été éliminé : la proportionnalité ne résulte pas d'une approximation. L'expérience confirme d'ailleurs cette manière de voir : l'appareil n'introduit jamais d'harmonique 2, même pour des amplitudes de 40 centimètres du spot sur l'écran.

La proportionnalité des déplacements aux couples moteurs est obtenue par l'emploi de ressorts travaillant loin de la limite élastique. A ce sujet, il est intéressant de remarquer que, dans l'étude de l'appareil, les mêmes difficultés se sont présentées au point de vue mécanique qu'au point de vue magnétique. De même qu'il existe un hystérésis mécanique dû aux résidus de déformation, il existe une viscosité mécanique des ressorts, se manifestant par une élasticité croissante avec la fréquence. Il a été assez difficile de trouver des aciers à ressort exempts de ces défauts ; certains aciers sont inutilisables à la fréquence 3.000.

3° **L'amortissement du mouvement** est indispensable : l'appareil doit avoir une fréquence constante et ne pas introduire sa fréquence propre. Il ne peut être obtenu électromagnétiquement par un shunt, comme dans les galvanomètres, car, la période propre mécanique étant beaucoup plus courte que la constante de temps L/R de l'enroulement entourant la palette, il ne peut se développer de courants induits suffisants pour freiner l'oscillation propre. Le seul procédé pratiquement utilisable est l'amortissement par huile. Suivant les applications envisagées, l'appareil comporte un bain d'huile entourant la palette et sa petite bobine, ou simplement une goutte d'huile spéciale placée une fois pour toutes autour de la palette dans son logement.

Des phénomènes curieux, comme celui de la rigidité des liquides visqueux, m'ont beaucoup gêné aux grandes fréquences. L'huile résiste élastiquement comme un solide aux vibrations

rapides. Aux déplacements lents, elle n'offre qu'une résistance proportionnelle à la vitesse, qui est la force d'amortissement par viscosité nécessaire pour obtenir le régime pendulaire apériodique ; au contraire, elle s'oppose aux déplacements rapides en introduisant une force élastique croissant avec la fréquence, de sorte qu'on peut obtenir un régime apériodique comme courbe moyenne, avec superposition d'oscillations beaucoup plus rapides que la fréquence propre. La difficulté a pu être levée par l'em-

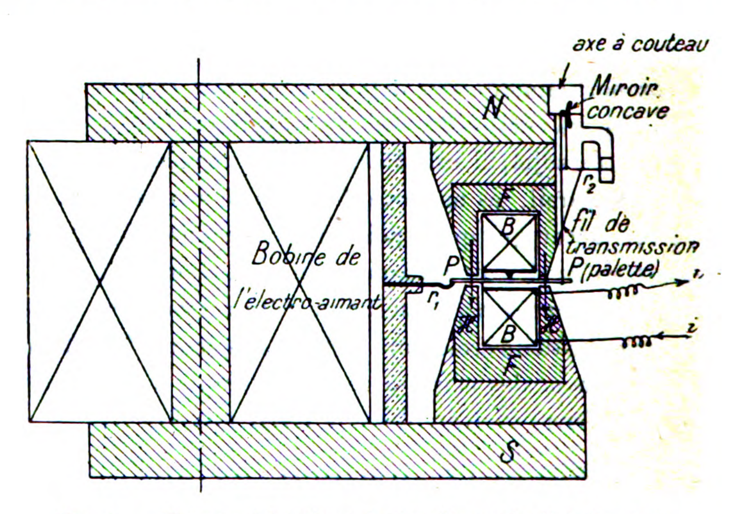


Fig. 3. — Coupe schématique de l'oscillographe (échelle : 3/4).

ploi d'huiles spéciales, pour lesquelles la rigidité est négligeable aux fréquences téléphoniques. Tout ceci montre combien les phénomènes les plus simples en apparence ne le sont qu'en raison de l'imperfection de nos sens. Dès qu'un moyen d'investigation nous permet de pénétrer plus avant dans la nature des choses, la complication indéfinie de la nature nous apparaît mieux. Les lois physiques, telles que nous les énonçons, ne sont que des approximations, qui dépendent de l'étendue du domaine dans lequel on les considère. Dans le temps comme dans l'espace, il est rare que l'infiniment grand et l'infiniment petit se laissent régir par les mêmes lois établies pour le domaine moyen dans lequel nous vivons.

Description de l'appareil. — La figure 3 représente le schéma de l'oscillographe. La palette P est disposée perpendiculairement au champ d'un électro-aimant ou d'un aimant permanent (dont l'emploi présente de grands avantages par rapport à celui d'un électro-aimant). Le courant variable traverse la bobine B qui entoure la palette. Le flux dû à ce courant circule dans la palette P et dans des feuilletés F qui sont maintenus par les pièces polaires en forme de mâchoires.

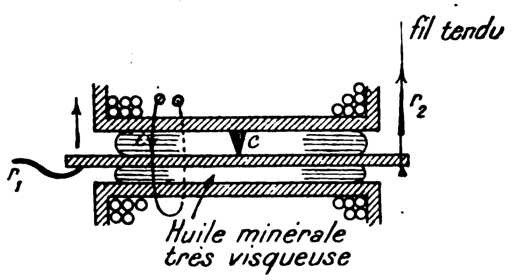


Fig. 4. — Montage de la palette.

Les ressorts de rappel r_1 et r_2 tendent le fil qui s'enroule autour du miroir et maintiennent très solidement les couteaux d'acier de l'axe sur leur support (l'appareil peut fonctionner dans toutes les positions).

Un organe très simple permet de régler la position d'équilibre de la palette pour qu'elle soit au milieu de l'entrefer.

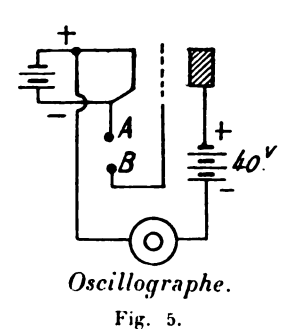
Pour les applications où l'on demande à l'appareil la sensibilité maximum, l'enroulement oscillographique est constitué par plusieurs milliers de spires de fil fin. La résistance est de l'ordre du millier d'ohms ; la self-induction, de 2 henrys. Comme la résistance de l'espace filament-plaque d'une lampe de réception normale est de 20.000 à 25.000 ohms, la constante de temps électrique est :

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{2}{20.000} = \frac{1}{10.000} \text{ de seconde.}$$

Dans ces conditions, les enregistrements des fréquences musicales sont corrects.

On peut utiliser l'appareil indépendamment de toute lampe de T.S.F., par exemple comme oscillo-voltmètre. Dans ce cas,

il faut toujours prévoir, en série, une résistance telle que la constante de temps électrique reste courte devant la période du phénomène étudié. On construit d'ailleurs actuellement (chez M. Ch. Beaudouin, 31, rue Lhomond, à Paris) non seulement le type d'appareil calculé pour fonctionner dans un circuit plaque de lampe, mais aussi un type industriel permettant d'étudier les tensions et courants industriels. La bobine est alors exécutée en fil beaucoup plus gros : la résistance et surtout la self-induction sont ramenées à des valeurs considérablement plus faibles et adaptées à ces applications spéciales.



Oscillographe.

Fig. 5.

Le montage le plus intéressant, parce que particulièrement, commode pour toutes les applications, est le suivant (fig. 5). Une lampe de réception, qui peut être une micro-triode ou radiomicro autrement dit une lampe à faible consommation, contient l'oscillographe dans son circuit-plaque. Sa grille est reliée à l'extrémité négative du filament par le montage que l'on désire étudier. Pour enregistrer une intensité i, on monte une résistance R convenable et l'on mesure ainsi Ri, et l'appareil fonctionne comme un voltmètre de bornes A B.

Avec une radiomicro, l'ensemble est extrêmement économique et peu encombrant. Le filament demande deux éléments de pile sèche (3 volts environ) et 10 piles de poche comme tension plaque (40 volts). Le tout tient dans une boîte minuscule et pèse 2 kilogrammes, oscillographe compris. Avec ce montage, on peut mesurer électrostatiquement, grâce à l'infime petitesse des courants grille, des tensions minuscules sans les faire débiter.

Pour les courants ou tensions extrêmement faibles, on peut amplifier à plusieurs étages sans inconvénient.

Enfin, pour les mesures à fréquence constante, on peut très facilement atteindre le microampère efficace sans amplification, en n'amortissant pas l'appareil et en l'accordant sur la fréquence utilisée. Ceci est très commode pour les mesures au pont de Wheatstone à 800 périodes, car la sensibilité d'un millimètre par microampère est aisée à obtenir dans ces conditions.

Applications. — Parmi les principales applications déjà faites de cet oscillographe sous sa forme apériodique, je ne ferai que mentionner les suivantes :

1° Dans le domaine de l'électrotechnique générale, toutes les applications habituelles des oscillographes industriels, avec cet avantage particulier que la petitesse de l'appareil, sa robustesse et la simplicité du dispositif optique le rendent très transportable.

2° Pour la recherche scientifique, son domaine d'utilisation est indéfini. Par exemple en T.S.F., l'appareil permet d'étudier les amplificateurs basse fréquence, la détection, les coefficients d'amplification, la mesure des intensités de réception, des taux de modulation, etc... A ce sujet, une étude détaillée des phénomènes de détection, en particulier des constantes de temps dans la détection, faite à l'aide de l'oscillographe, est parue dans l'*Onde électrique* (1924, n°s 30 et 31), et la mesure des taux de modulation et des intensités de réception est décrite en détail dans le n° 37 du même périodique (janvier 1925). En acoustique, la microphonie et la téléphonie trouvent en cet instrument l'auxiliaire tout indiqué, grâce auquel les mesures et investigations de toute nature sont rendues très faciles. En particulier, nous reparlerons plus loin de l'emploi de l'appareil pour l'étude des téléphones par la méthode de Kennelly. Par enregistrement photographique, il est possible d'étudier facilement la fréquence propre des récepteurs ou des microphones, ainsi que les distorsions qui prennent naissance dans certains montages. Monté avec un récepteur de son étalonné, par exemple avec un microphone électromagnétique bien étudié, l'oscillographe permet l'analyse des sons et par suite l'étude des émetteurs sonores, celle de la parole, celle des bruits.

3° Dans le domaine des mesures physiques, il a permis des mesures de temps à 1/10.000 de seconde près ; il est utilisé maintenant pour le sondage par échos ultra-sonores, inventé par MM. Langevin et Chilowsky, qui donne les profondeurs de mer par la durée de parcours d'un bref ultra-son qui se réfléchit sur le fond et revient provoquer par sa réception une rapide dévia-

tion du spot de l'oscillographe. Un dispositif optique imaginé par M. Florisson, collaborateur de M. Langevin, permet de lire sur une échelle la profondeur indiquée par le crochet de l'oscillographe. Pour cela, le spot parcourt l'échelle avec une vitesse uniforme, de sorte que l'instant de la déviation indique l'intervalle de temps écoulé, donc la profondeur.

Tous les phénomènes susceptibles de se traduire électriquement peuvent être mesurés par l'intermédiaire de l'oscillographe à condition que les fréquences présentes ne dépassent pas 3.000 p. s.$^{-1}$; au delà de cette fréquence, la sensibilité diminue notablement.

Enfin l'appareil constitue un galvanomètre sensible pour les courants alternatifs, et comme tel il peut remplacer le téléphone

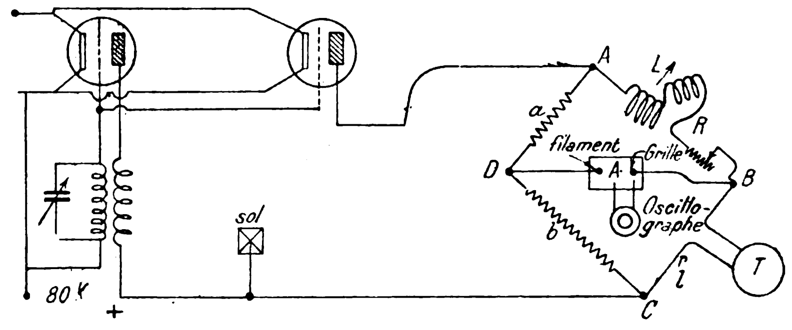


Fig. 6. — Hétérodyne musicale et sa lampe amplificatrice.

très avantageusement dans les nombreux ponts dérivés du pont de Wheatstone. Le grand avantage de l'emploi de l'oscillographe à la place du téléphone est la substitution d'une lecture optique (en l'espèce la largeur d'une bande lumineuse sur une échelle translucide) à l'impression auditive du son d'un téléphone. Si le silence existait réellement au téléphone, la méthode de zéro aurait une précision indéfinie, fonction seulement de l'amplification utilisée. En fait, même pour des sources relativement pures, introduisant des harmoniques aussi faibles que possible, le silence n'est jamais parfait, d'abord parce qu'il subsiste généralement quelques sons supérieurs, et aussi parce que le voisinage du corps de l'opérateur et du boîtier de l'écouteur

introduit une capacité parasite entre cette partie du montage et le sol, qui dérive un courant appréciable. Ce courant traverse une partie de l'enroulement et fait vibrer le diaphragme. L'emploi d'un oscillographe à aimant permanent, qui peut être à plus de deux mètres de l'opérateur et loin de tout conducteur relié au sol, permet de faire des mesures correctes sans avoir recours aux transformateurs spéciaux possédant un écran protecteur relié au sol (transformateurs Sullivan).

Voici par exemple (fig. 6) le schéma d'un pont très commode qui m'a permis de tracer un grand nombre de courbes de résistance et de self-induction d'écouteurs téléphoniques, courbes destinées à l'étude des téléphones par la méthode de Kennelly. Le pont est constitué par deux bras adjacents ne présentant que de la résistance sans self et surtout *sans capacité*. Ce dernier point est malheureusement généralement négligé, et pourtant il est fondamental. Les résistances étalons bobinées en fil double sont à proscrire complètement. Leur self est infime ; leur capacité est par contre beaucoup trop grande. Il n'est pas difficile de faire soi-même d'excellentes résistances en prenant simplement du fil de constantan de 5/100 de millimètre (175 ohms au mètre) et en le fixant en lacets sur un support de presspahn dont on a dentelé les bords (fig. 7). La self et la capacité sont alors voisines de celles d'un fil unique de même longueur, ce qui ne perturbe pas les mesures pour les fils de grande résistivité. Les deux autres bras contiennent une self étalon Carpentier variable de $0^{H},30$ à $0^{H},98$, une résistance variable à plots de 11.110 ohms montée de la même manière sans self ni capacité, puis le téléphone à étudier. La source la plus com-

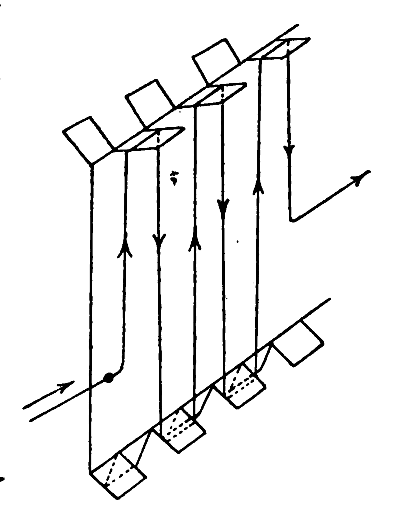


Fig. 7.

mode est une hétérodyne musicale, à laquelle il est prudent d'adjoindre une lampe amplificatrice, dont le rôle est d'éviter que la fréquence de l'hétérodyne ne dépende de l'impédance du

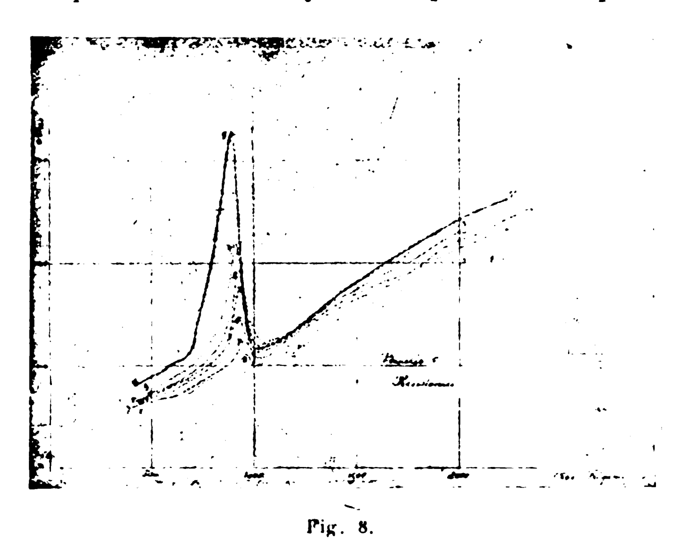


Fig. 8.

pont, qui varie au cours des mesures. La diagonale de mesure est reliée à un amplificateur A, dont le téléphone de sortie est remplacé par l'oscillographe. Il est commode d'appliquer la

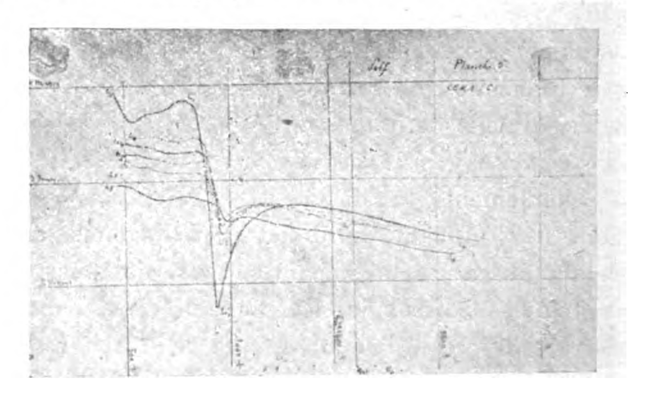


Fig. 9.

différence de potentiel entre B et D directement entre le négatif du chauffage et la grille, sans transformateur. Enfin l'expérience montre que les mesures ne sont rigoureuses

qu'après avoir mis au sol un certain point du montage, qui dépend des capacités des différents organes par rapport au

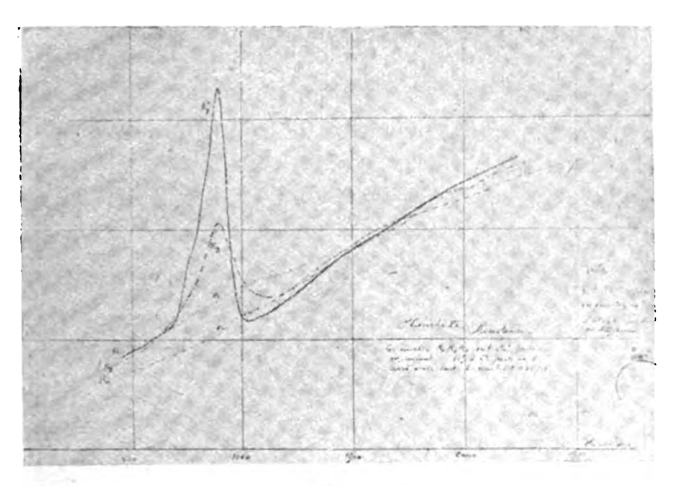


Fig. 10.

sol. Généralement, il suffit de mettre à la terre le sommet C, ce qui est alors très commode lorsque l'impédance à mesurer est

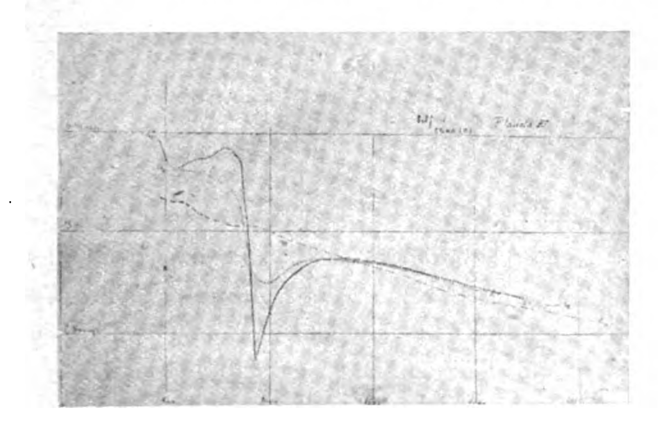
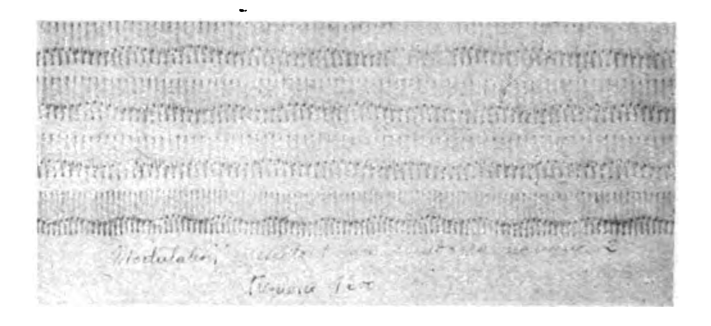


Fig. 11.

Fig. 8, 9, 10, 11. — Courbes de résistance et de self d'un téléphone CEMA « Standard » pour T.S.F.

celle d'un appareil ayant un point au sol : on s'arrange de manière à utiliser ce point au sol pour fixer le potentiel moyen du montage.

Il est intéressant de remarquer que, dans les mesures faites à l'oscillographe, on obtient toujours un zéro rigoureux par le réglage de L et de R, et ces valeurs sont très bien définies : la précision est excellente. La rapidité des mesures est extrême : on détermine aisément en une heure une courbe de self et de résistance comportant la mesure à 60 fréquences différentes, avec



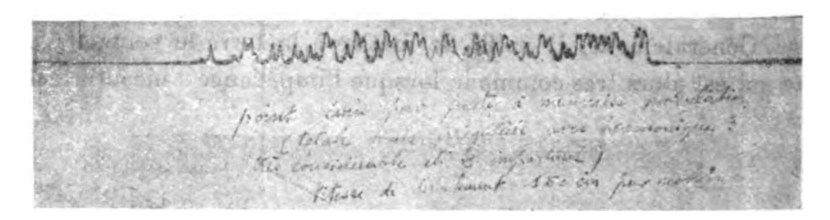


Fig. 12.

une précision supérieure à 1/1.000. Les meilleures mesures au téléphone laissent toujours place à une incertitude trois fois plus étendue que celles effectuées à l'oscillographe. Ceci provient de ce qu'on voit constamment et sans aucun retard la largeur de la bande accuser les progrès du réglage. En fait, la mesure est incomparablement plus rapide qu'en courant continu, car il n'y a plus ici à attendre le retour interminable d'un spot de galvanomètre à longue période.

Les courbes ci-jointes (fig. 8, 9, 10, 11) représentent l'étude de la sensibilité d'un téléphone CEMA, type T.S.F. Standard, en fonction de la grandeur de l'entrefer. Cet écouteur réglable est très bien construit. On voit, sur les courbes de résistance,

combien la résistance augmente peu aux fréquences élevées, ce qui indique l'absence de courants de Foucault notables, fait que la relativement faible diminution de la self vient confirmer. L'hystérésis est faible : les cercles de Kennelly n'accusent qu'un retard hystérétique de 10°, ce qui est excellent (les téléphones ordinaires ont des retards hystérétiques de 20 à 25°).

L'influence de la résonance est très visible : la grande aug-

Modulation riche en harmoniques.

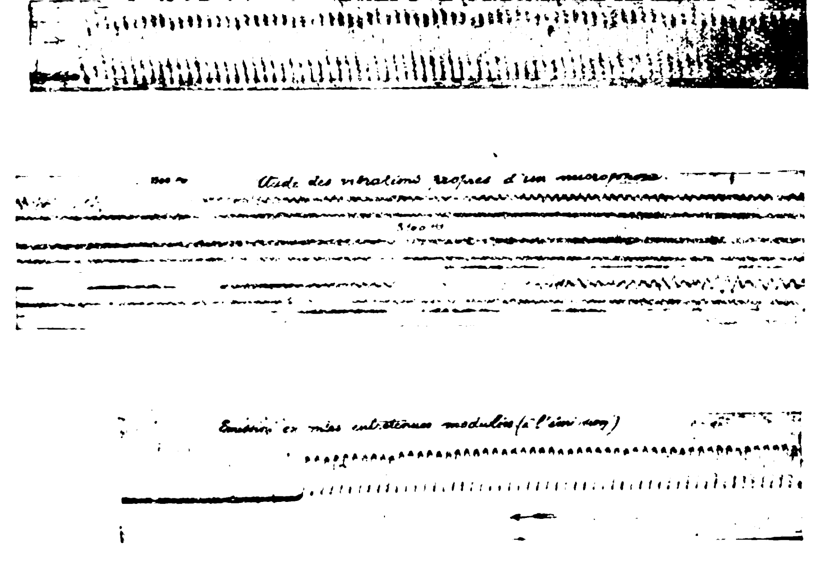


Fig. 13.

mentation de la résistance provient de la grandeur même des amplitudes : le téléphone fonctionne comme un moteur, il transforme une plus grande partie de l'énergie électrique en énergie mécanique à la résonance ; c'est pourquoi sa résistance passe par un maximum. La self diminue au contraire très vite à ce moment, et il y a toujours un point d'inflexion pour la self quand il y a un maximum pour la résistance. L'inverse est d'ailleurs vrai. On voit sur les courbes que la sensibilité diminue quand l'entrefer augmente ; l'acuité des résonances croît d'ailleurs avec lui.

L'intérêt considérable de ces mesures sur les téléphones est qu'elles sont applicables, sans modifications, aux haut-parleurs, pour des émetteurs électromagnétiques ou électrodynamiques, même plongés dans l'eau, et en général pour tous les microphones réversibles. Il est possible d'étudier ainsi des micro-

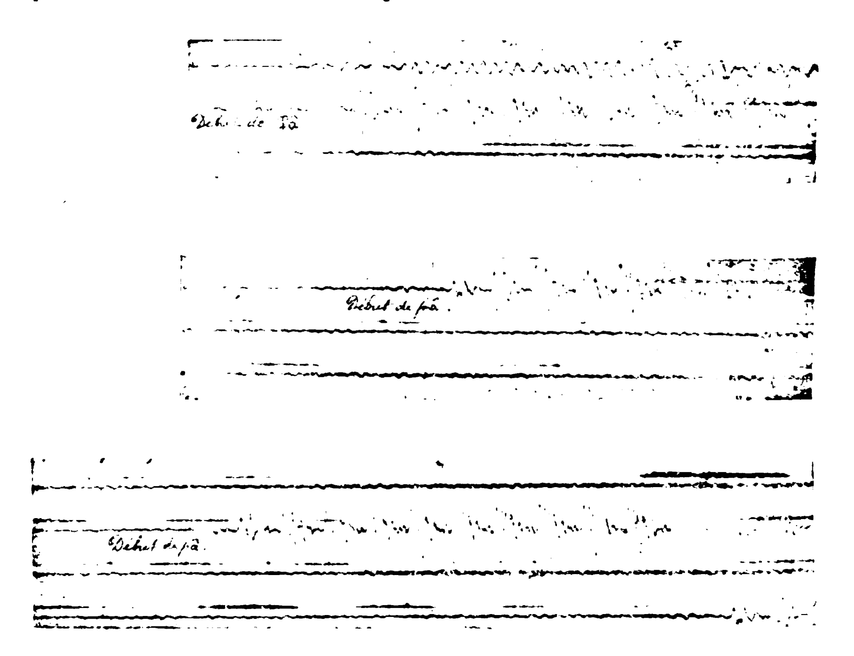


Fig. 14.

phones électromagnétiques sous-marins sans les toucher, à leur poste même d'utilisation, et il est vraiment admirable qu'on puisse aussi facilement connaître l'amplitude de vibration, en particulier tracer la courbe de résonance, d'un appareil placé au fond de la mer et complètement inaccessible.

Les photographies ci-jointes représentent quelques courbes enregistrées photographiquement par l'oscillographe. Les unes (fig. 12) sont relatives à des mesures de T.S.F., d'autres (fig. 13) à des études de microphones, en particulier (fig. 14) trois enregistrements différents de la syllabe *Pâ* prononcée par une même bouche, qui montre que, malgré la complexité du tracé, la répétition reste identique à elle-même.

CONTROLE DE LA DISTRIBUTION DU COURANT D'ALIMENTATION ET DE RETOUR DANS UN RÉSEAU DE TRACTION PAR COURANT CONTINU,

Par L. WINTERER,
Inspecteur des Postes et Télégraphes.

Nous considérerons le cas le plus général d'un réseau relié à une sous-station par des feeders positifs et négatifs, c'est-à-dire par des câbles formant artères d'alimentation et de retour.

Le mémoire descriptif, avec calculs justificatifs, produit par la société exploitante à l'appui de sa demande, doit fournir tous les renseignements techniques utiles, en ce qui concerne les conditions d'établissement du réseau projeté. Ces conditions d'établissement donnent lieu aux observations suivantes.

Feeders. — Dans la région parisienne, les feeders sont ordinairement des câbles souterrains armés et sous plomb, à un seul conducteur en cuivre (1) isolé au papier imprégné; les feeders positifs partent de la barre positive des commutatrices à la sous-station et aboutissent au fil de contact ou fil de trolley; les feeders négatifs sont reliés d'une part à la barre négative, d'autre part aux rails de roulement; les parcours de deux feeders positif et négatif ne sont pas nécessairement les mêmes; cependant, par raison d'économie et à cause des commodités d'entretien et de surveillance, on les place dans la même tranchée et, en général, la liaison du feeder positif au fil de contact et celle du feeder négatif aux rails de roulement sont au voisi-

(1) La S.T.C.R.P. (Société des transports en commun de la région parisienne) emploie aussi des conducteurs en aluminium, de conductibilité équivalente à celle des conducteurs en cuivre.



nage l'une de l'autre. Quelquefois les feeders sont aériens et posés sur les appuis ou potences qui supportent les fils de contact : on peut voir un feeder positif aérien sur la ligne de tramways 86, entre le terminus de Fontenay-aux-Roses et la sous-station « Malakoff », avenue de Châtillon.

A Paris, les feeders sont presque toujours en tranchée ; sous trottoir, on les pose dans une couche de sable fin, à une profondeur de 70 centimètres, avec un grillage métallique protecteur ; sous chaussée, ils sont placés dans un fourreau métallique. En principe, tous les courants transmis par les conducteurs des feeders positifs doivent rentrer par les conducteurs des feeders négatifs, car les enveloppes de plomb et armatures doivent être soigneusement isolées des conducteurs, et la barre négative des commutatrices à la sous-station doit être isolée du sol. Dans la pratique, il en est rarement ainsi, et une partie plus ou moins importante du courant de retour rentre par l'armature ou l'enveloppe de plomb des feeders négatifs, et regagne la barre négative soit par l'intermédiaire de la charpente du bâtiment de la sous-station, soit en rejoignant, à certains endroits, les conducteurs des feeders négatifs. Chaque feeder est pourvu d'un ampèremètre à la sous-station, ce qui permet de contrôler son débit ; on équilibre les feeders négatifs, de longueurs inégales, à l'aide de résistances réglables ; le feeder négatif le plus long, et par suite le plus résistant, n'est habituellement pourvu d'aucune résistance additionnelle ; on règle les résistances sur les autres feeders de façon que les points de jonction aux rails ou atterrissages [1] soient à des potentiels peu différents, et par suite que tous les feeders négatifs puissent travailler en parallèle au retour du courant.

Il est clair que l'égalité de potentiel entre les divers atterrissages n'est pratiquement pas réalisable ; il faut d'ailleurs tenir compte des résistances des sections de voie qui les séparent ; la

(1) On suppose, en général, que les atterrissages sont au potentiel du sol, ce qui n'est pas exact ; pour que le courant de retour puisse être aspiré par le feeder négatif, il faut donc que la barre négative soit à un potentiel inférieur à celui du sol.

circulaire du ministère des Travaux publics en date du 1er juillet 1924 mentionne, à ce sujet, qu'il ne paraît ni nécessaire ni toujours avantageux de réaliser une équipotentialité *parfaite* des points de connexion aux rails, et qu'il est préférable de fixer une limite à leurs différences de potentiel moyennes (1).

La Société des transports en commun de la région parisienne a établi, dans la même tranchée que ses feeders, des *câbles pilotes téléphoniques* (2) à plusieurs conducteurs, qui partent d'un tableau installé à la sous-station (3) et aboutissent à une boîte de jonction, voisine des extrémités des feeders ; des organes de commutation fixés dans cette boîte permettent de relier tel conducteur du câble pilote soit à une conduite d'eau ou de gaz, soit à l'enveloppe de plomb d'un câble, soit aux rails, soit à l'extrémité d'un feeder, de telle sorte qu'il est ainsi possible de procéder à de très utiles essais de vérification (différences de potentiel entre rails et canalisations voisines, entre deux points des rails ou des canalisations, entre rails et feeders, isolement des feeders, etc..., etc...) ; la connaissance exacte de la résistance ohmique des fils pilotes permet de corriger convenablement les indications des voltmètres.

L'arrêté technique du 30 avril 1924 (art. 66) prescrit que les feeders négatifs doivent être isolés du sol. Certains exploitants avaient cru qu'il n'y aurait pas d'inconvénients à constituer ces feeders en fils nus posés dans le sol ; il est facile de comprendre que, dans ces conditions, les câbles et canalisations métalliques qui longeraient les voies et croiseraient les feeders négatifs serviraient eux-mêmes de feeders de retour et que, d'une façon générale, la charge augmenterait considérablement sur les canalisations intéressées par le réseau de traction.

---

(1) Cette limite est d'un volt par kilomètre de distance des atterrissages à vol d'oiseau dans la zone urbaine et de 2 volts dans la zone suburbaine.

(2) Ils sont ainsi désignés parce que deux fils peuvent être utilisés pour commander les manœuvres par téléphone.

(3) On peut signaler aussi qu'il existe, à la sous-station de Sèvres, un dispositif de commande à distance des différents organes, permettant de provoquer automatiquement leur fonctionnement ou leur arrêt.

L'article 63 dudit arrêté spécifie que tous les conducteurs de courant reliés aux rails doivent être isolés du sol ; il n'est fait exception que pour les connexions des joints de rail, les connexions des appareils de voie (aiguillages) et les connexions transversales reliant les rails, qui peuvent être nues.

En général, les feeders connectés aux rails de roulement sont reliés au pôle négatif à la sous-station, et alors, aux environs des atterrissages, les rails sont négatifs par rapport aux canalisations voisines : c'est pour réduire la charge sur ces canalisations que l'arrêté technique (art. 66, § 2) prévient que les liaisons des feeders de retour avec les rails [1] doivent être établies, autant que possible, dans un terrain sec et mauvais conducteur et en des points aussi éloignés que possible des conduites, canalisations ou masses métalliques souterraines ; les enveloppes des feeders négatifs souterrains doivent être isolées des rails et du sol jusqu'à une distance d'au moins quatre mètres des rails.

Quand les feeders connectés aux rails de roulement sont reliés au pôle négatif, la zone où les rails sont positifs a une longueur à peu près double de celle où les rails sont négatifs par rapport aux canalisations voisines ; ce serait l'inverse si le pôle positif était relié aux rails et le négatif au fil de contact. Comme la zone où l'électrolyse est à craindre est celle où les rails sont négatifs, on voit que la première combinaison est la meilleure. La Compagnie générale des omnibus a essayé, il y a quelques années, entre Sèvres et Versailles, de renverser périodiquement les liaisons de feeders (toutes les vingt-quatre heures) ; le danger d'électrolyse existait ainsi tout le long des rails, tantôt dans une zone, tantôt dans l'autre ; cependant, si le renversement des liaisons pouvait être effectué plus fréquemment, peut-être les risques d'électrolyse des canalisations seraient-ils moindres, car l'enveloppe attaquable deviendrait alors alternativement

(1) Les liaisons aux rails s'effectuent en plusieurs points, c'est-à-dire que l'extrémité du feeder est prolongée par plusieurs branches, qui s'épanouissent en patte d'oie.

anode et cathode, dans des intervalles de temps assez rapprochés pour que les actions, dans les deux cas, se détruisent au moins partiellement. Le chemin de fer métropolitain de Paris n'emploie pas de feeders proprement dits; les câbles d'alimentation et de retour sont, en général, très courts; mais cela n'offre guère d'inconvénients, car les sous-stations sont nombreuses [1] et peu éloignées les unes des autres.

Les chemins de fer électrifiés de la banlieue parisienne (Paris à Juvisy, Paris-Invalides à Versailles R.g., Paris-Saint-Lazare à Bois-Colombes) n'ont également que des câbles d'alimentation et de retour très courts; il en résulte de fortes pertes de charge dans le rail de contact et le long des rails de roulement.

La notice descriptive doit indiquer le nombre des feeders, leurs longueurs et leurs parcours respectifs, leurs points d'aboutissement et, notamment, les atterrissages des feeders négatifs.

Courant. — En général, le courant de traction est du courant continu; la différence de potentiel entre ligne aérienne et terre ou entre les deux barres du caniveau souterrain est d'environ 600 volts; le courant alternatif à haute tension, fourni par les stations centrales et dont le voltage a été convenablement réduit, est transformé en courant continu à 600 volts environ dans les sous-stations à l'aide de commutatrices [2].

Les chemins de fer de la banlieue parisienne emploient, actuellement, comme le métropolitain, un rail de prise de courant; mais, lorsque le voltage du courant de traction sera porté à 1.500 volts, il sera nécessaire d'employer une prise de courant aérienne. Le chemin de fer Nord-Sud est alimenté à la fois par un rail de contact et une ligne aérienne de polarités différentes, en sorte qn'il ne circule qu'un faible courant, en régime normal,

(1) Il y a 16 sous-stations, avec un développement de 92 kilomètres de voie double.

(2) Le chemin de fer métropolitain de Paris emploie avec succès, à la sous-station « Nation » (en face le n° 37 du cours de Vincennes), des convertisseurs à vapeur de mercure pour la transformation statique du courant alternatif en courant continu.



dans les rails de roulement qui sont neutres. En raison des graves perturbations qui résultent des effets d'induction sur les lignes télégraphiques et téléphoniques, il est très désirable que le courant continu soit employé de préférence au courant alternatif dans les réseaux de traction; cette observation ne s'applique pas aux courants faibles, tels que les courants alternatifs de signalisation que le chemin de fer métropolitain emploie sur ses nouvelles lignes.

Lignes. — La ligne aérienne est composée de deux fils de cuivre de haute conductibilité ; la section de chaque fil, variable avec l'intensité nécessaire, ne pourra dorénavant être inférieure à 30 millimètres carrés (arrêté du 30 avril 1924, art. 58) ; elle peut être, par exemple, de 100 millimètres carrés avec une résistance ohmique de $0^{\Omega},95$ environ par kilomètre; dans ce cas, l'intensité permanente admissible dans chaque fil est d'environ 400 ampères. Ces renseignements sont consignés dans un tableau; un autre tableau indique les sections de ligne aérienne alimentées par les feeders positifs, et leurs longueurs respectives.

Dans les parties en caniveau, les rails de roulement ne reçoivent pas le courant de retour ; deux barres en acier doux, disposées dans le caniveau, l'une positive, l'autre négative, sont reliées au moteur de la voiture par l'intermédiaire d'un dispositif appelé *charrue* ; ces barres ont, à l'état neuf, une section de 1.620 millimètres carrés ; en tenant compte de l'usure et de la résistance des joints, leur résistance ohmique, lorsqu'elles sont en service, est de $0^{\Omega},13$ par kilomètre, à la températnre de 20°C; l'intensité permanente admissible varie entre 200 et 300 ampères. La solution du caniveau est de beaucoup la plus élégante et la plus sûre ; malheureusement, les dépenses de premier établissement et aussi certaines dépenses d'entretien sont extrêmement élevées.

Voies. — Les voies de tramways sont habituellement constituées en rails « Broca » ou en rails « Vignole »; le rail Broca pèse environ $51^{kg},4$ par mètre ; le poids du rail Vignole est à peu près de 46 kilos par mètre ; la résistance kilométrique d'une

file de rail de chaque espèce est respectivement de 0$^{\Omega}$,36 et de 0$^{\Omega}$,40.

Un tableau indique, pour chaque ligne, les longueurs des sections en rail de l'une ou l'autre catégorie, soit dans le cas de voie simple (2 rails), soit dans le cas de voie double (4 rails).

L'arrêté technique a prévu diverses dispositions pour améliorer la conductibilité des voies : les joints doivent avoir une conductance telle, que la chute de tension moyenne ne puisse atteindre, dans aucun joint, 5 millivolts dans la zone urbaine ni 10 millivolts dans la zone suburbaine ; de plus, des connexions ayant au moins 50 millimètres carrés de section, si elles sont en cuivre (ou une section électriquement équivalente), doivent être établies transversalement entre les rails d'une même voie (tous les dix joints) ou entre les rails intérieurs de deux voies juxtaposées (tous les vingt joints) ; aux solutions de continuité des voies (passage de ponts mobiles, traversée de voie ferrées, aiguillages, etc...), la conductance doit être assurée par des conducteurs spéciaux, reliés aux rails de part et d'autre de la coupure ; la section de ces conducteurs doit être telle, que la chute de tension entre les extrémités de la coupure ne dépasse pas, en moyenne, 10 millivolts par mètre. Souvent, trois joints de rail sur quatre sont soudés ; le joint qui n'a pas été soudé en raison de la dilatation longitudinale des rails, est pourvu d'une connexion dont le diamètre est habituellement celui des fils de la ligne aériénne.

Les voies du métropolitain n'ayant pas à subir l'action du gros charroi, sont moins fréquemment détériorées que les voies de tramways ; la S.T.C.R.P. a cherché à bénéficier du même avantage en posant, lorsque cela est possible, ses voies sur accotement, les rails en saillie sur traverses en bois imprégné, avec ballast en cailloux.

Calcul de l'énergie consommée. — La S.T.C.R.P. indique que, pour ses voitures motrices du type le plus employé (18 tonnes), la consommation, en palier, par tonne et par kilomètre, est de 60 watt-heure sur les voies en rails Broca et de

53 watt-heure sur les voies en rails Vignole ; pour les attelages (type courant, 12 tonnes), la consommation est moitié de la précédente.

Pour les pentes qui dépassent 12 millimètres par mètre, la consommation est convenablement majorée et l'on peut aussi tenir compte, dans l'évaluation de la dépense d'énergie, des courbes, des aiguillages, du chauffage et de l'éclairage. L'énergie dépensée par une voiture, dans une section alimentée par un feeder positif, peut donc être calculée : si l est la longueur de la section, p_1 le poids de la motrice, w_1 l'énergie qu'elle consomme par tonne et par kilomètre, p_2 et w_2 les mêmes données pour l'attelage, on peut écrire :

$$W = l\,(p_1 w_1 + p_2 w_2).$$

D'autre part, la fréquence horaire de circulation des voitures est donnée par la formule :

$$f = \frac{2 \times 60 \times N}{T},$$

N étant le nombre des voitures en service, T la durée en minutes de la révolution complète (aller et retour) y compris les stationnements en terminus, f le nombre des voitures qui circulent, dans les deux sens, pendant une heure, sur la ligne considérée : ce nombre f peut être différent pour les motrices et pour les attelages ; en le désignant par f_1 pour les premières et par f_2 pour les seconds, la formule :

$$W = l\,(p_1 w_1 f_1 + p_2 w_2 f_2)$$

donne, en watts, l'énergie consommée sur une section de longueur l en kilomètres. Si le voltage moyen du courant dans cette section est de 500 volts, on peut admettre que $\frac{W}{500}$ représente l'intensité moyenne, et cette hypothèse se rapproche d'autant plus de la réalité que la fréquence de circulation des voitures est plus grande.

Calcul de la perte de charge dans les voies de roulement. — On voit qu'il est aisé maintenant de calculer la perte de

charge kilométrique dans les voies de roulement, en une section donnée et pour une certaine heure ; cette perte de charge est la différence de potentiel entre deux points des voies distants d'un kilomètre ; on l'obtiendra en multipliant l'intensité moyenne par la résistance des rails pour un kilomètre de voie. Avec les feeders négatifs reliés aux rails de roulement comme c'est l'habitude, on constate que la perte de charge atteint sa plus grande valeur au voisinage du point de connexion du feeder négatif aux rails; en ce point, le potentiel du courant de retour est minimum ; en terminus de section, au contraire, ce potentiel est maximum ; au voisinage des terminus, les rails sont positifs par rapport aux canalisations voisines ; c'est l'inverse au voisinage des points de jonction des feeders négatifs aux rails ; dans une section AB comprise entre deux feeders, il y a un point neutre C qui figure un terminus fictif ; ce point neutre se déplace d'ailleurs constamment, et le courant de retour s'en éloigne dans les sens CA et CB.

Mais, dans ce qui précède, on a supposé que tout le courant utilisé demeure dans les rails ; or il n'en est jamais ainsi, et une fraction plus ou moins importante du courant passe dans la terre ou sur les canalisations voisines ; la perte de charge mesurée diminue d'autant plus que le courant dérivé des rails est plus important. C'est pourquoi l'arrêté technique a prescrit, d'une part, une perte de charge kilométrique *calculée* inférieure ou au plus égale à $1^{V},1$ dans la zone urbaine et à $2^{V},2$ dans la zone suburbaine, et, d'autre part, des pertes de charge kilométriques *mesurées* respectivement inférieures ou au plus égales à un volt et à deux volts.

On pourrait conclure de là que la tolérance accordée pour les courants dérivés des rails est limitée à 10 °/₀ ; or, dans la pratique, cette proportion est fortement dépassée.

Il semble, au surplus, bien évident que la tolérance considérée ne saurait aucunement constituer une servitude pour les canalisations ; en sorte que le droit commun intervient tout naturellement lorsque la présence du courant dérivé a pour effet de détériorer les canalisations, ou d'en favoriser la détérioration, ou de causer une gêne quelconque.

Il y a inévitablement du courant dérivé des rails, car, au fur et à mesure qu'une voiture s'éloigne du point d'attache du feeder négatif aux rails, la résistance de la terre diminue alors que celle des rails augmente, et l'on peut considérer rails et terre comme deux conducteurs en parallèle.

On a constaté que, dans un réseau mal établi, la proportion du courant rentrant par le sol peut atteindre 60 %; dans un réseau bien jointé, on trouve souvent encore de 12 à 15 %.

Le champ électrique du sol diminue d'ailleurs très rapidement à peu de distance des points de sortie ou de rentrée du courant (1m,50 à 2 mètres); il semble que les filets de courant soient d'abord très serrés, puis s'épanouissent dans le sol un peu comme les lignes de force d'un aimant. La quantité de courant qui passe du sol sur une canalisation varie donc considérablement avec la position de celle-ci dans le champ électrique, et il y a intérêt à ne pas poser les canalisations à moins de deux mètres des rails dans la zone où le courant s'échappe de ceux-ci; la quantité de filets de courant collectés et, par suite, l'intensité du courant dérivé augmentent également quand la canalisation est voisine des rails sur une grande longueur et traverse successivement plusieurs zones de sortie ou de rentrée du courant; dans ce cas, la canalisation joue vraiment le rôle d'un feeder auxiliaire; elle reçoit le courant dérivé dans la zone positive des rails et le restitue dans la zone négative, en supposant la ligne de tramways alimentée normalement, c'est-à-dire les fils de contact reliés au pôle positif de la commutatrice à la sous-station.

Mesure de la perte de charge le long des voies. — Les chutes de tension moyennes kilométriques doivent être effectivement mesurées sur un kilomètre de voie et non pas sur une longueur arbitraire dont la chute de tension serait ensuite ramenée à la perte de charge kilométrique par une règle de trois; les mesures faites sur des longueurs arbitraires donnent, en effet, pour la perte de charge kilométrique, des résultats qui peuvent être très différents. Les mesures de perte de charge sont effectuées à l'aide d'un fil pilote qui doit être établi par les sociétés

exploitantes ; en général, ce fil pilote est posé sur les appuis qui supportent les fils de contact ; comme il a été dit, la S.T.C.R.P. a posé des fils pilotes souterrains qui peuvent permettre d'effectuer des mesures de perte de charge.

Il s'agit de pertes de charge *moyennes* : il faut donc prendre la moyenne des lectures effectuées et relevées à intervalles réguliers (par exemple, toutes les dix secondes) pendant la durée de l'expérience ; les résultats obtenus devront être corrigés convenablement si la résistance du fil pilote est comparable à celle du voltmètre (1). On peut aussi employer un voltmètre enregistreur et mesurer, à l'aide d'un planimètre d'Amsler, l'ordonnée moyenne des ordonnées de la courbe enregistrée ; si la perte de charge kilométrique dépasse les limites fixées dans l'arrêté technique, c'est-à-dire en moyenne 1 volt dans la zone urbaine (moyenne de la durée effective de service) et 2 volts dans la zone suburbaine (moyenne d'une durée de 24 heures consécutives), la société exploitante est invitée par le service du contrôle à améliorer la conductance des voies dans la section signalée défectueuse et, notamment, à procéder à la vérification des connexions de joints de rail et d'appareils de voie.

La perte de charge moyenne, telle qu'elle a été définie, est fonction de l'intensité moyenne du courant dans les rails et de la résistance ohmique de la voie : si l'on suppose que cette intensité diminue de plus en plus, la perte de charge diminuera également, mais l'intensité des courants dérivés augmentera ; on arrive ainsi à cette conclusion paradoxale que plus il y a de courant dérivé, mieux le règlement est observé. Aussi des accidents graves, causés par électrolyse de câbles, ont-ils été constatés alors que la perte de charge dans les rails intéressés était bien inférieure à la limite fixée ; il a fallu établir les procès-verbaux par application du décret-loi du 27 décembre 1851 et comme si la loi du 15 juin 1906 n'était pas applicable au cas considéré.

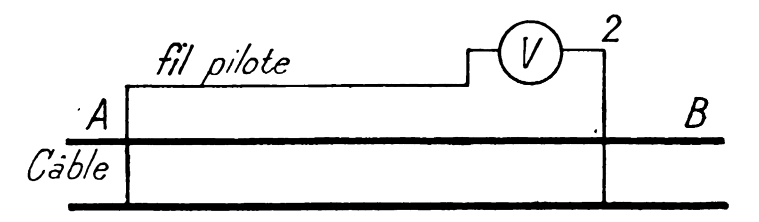
---

(1) n étant le nombre de divisions de la lecture, R la résistance du voltmètre, r celle du fil de pilote, $n\left(1 + \frac{r}{R}\right)$ donne la lecture corrigée.



Mesure des chutes de tension le long des enveloppes de câbles. — Si l'on considère le cas de câbles téléphoniques ou télégraphiques sous enveloppe de plomb, comme la résistance ohmique de ces enveloppes est à peu près constante, la chute de tension dépend principalement de l'intensité du courant dérivé des rails ; en mesurant cette chute de tension, on obtient donc des renseignements assez précis sur l'importance des courants dérivés.

Ces mesures sont effectuées, comme les précédentes, à l'aide de fils pilotes : le fil pilote est relié, d'une part, à l'enveloppe



de plomb du câble en A, par exemple, et, d'autre part, à la borne I du voltmètre V, dont la borne 2 est reliée par un bout de fil à l'enveloppe en B.

Le voltmètre V est à quatre sensibilités ; selon la sensibilité choisie, une division peut représenter un volt, ou un dixième, ou un centième, ou un millième de volt ; dans la plupart des cas, il sera nécessaire de tenir compte de la résistance du fil pilote et de corriger les indications de l'appareil.

Il est évident que le fil pilote doit être isolé du sol. Le plus souvent, on déroule un câble, en égout lorsque cela est possible, ou bien l'on installe ce câble par des moyens de fortune (dans les arbres, sur les poteaux ou les becs de gaz, le long des trottoirs) : les conducteurs servent de fils pilotes ; on peut aussi employer une paire ou un fil disponibles dans un câble, et cette solution est particulièrement avantageuse quand on peut atteindre aisément les extrémités du fil disponible, par exemple quand ces extrémités aboutissent à un répartiteur, à une guérite, à une chambre, à une tête de ligne. Dans certains cas urgents, on peut ouvrir un manchon de soudure de l'enveloppe pour

atteindre le fil disponible, mais cette manière de procéder ne doit être employée qu'exceptionnellement. On peut enfin quelquefois se servir du fil pilote installé par la société de traction.

Pour apprécier l'importance du courant dérivé, il sera nécessaire de tenir compte de la conductance de la ligne de câbles et de la gaine en tôle galvanisée dans laquelle les câbles sont placés.

La tension décroît régulièrement le long des enveloppes de âbles comme le long des rails ; il existe une zone d'entrée du courant dérivé et une zone de sortie, qui correspondent respectivement aux zones de sortie et d'entrée des rails ; on peut établir la carte électrique du réseau de câbles comme la carte électrique du réseau de traction. En réalité, la question est plus complexe ; au lieu d'une zone positive des rails en regard d'une zone négative des câbles, avec une zone négative des rails de longueur à peu près deux fois moindre en regard d'une zone positive des câbles, on constate :

a) une zone à peu près constamment positive des rails ;

b) une zone mixte où les rails sont tantôt positifs, tantôt négatifs, mais plus souvent et plus longtemps positifs ;

c) une zone mixte où les rails sont tantôt négatifs, tantôt positifs, mais plus souvent et plus longtemps négatifs ;

d) une zone où les rails sont presque constamment négatifs.

En même temps que la chute de tension le long des enveloppes de câbles, on mesure la différence de potentiel entre les rails et ces enveloppes, et souvent l'on se contente de cette mesure qui fournit cependant des indications moins concluantes ; souvent aussi l'on mesure la différence de potentiel entre rails et conduites de gaz ou d'eau, lorsque les câbles ne sont pas accessibles. Dans certains cas aussi, on mesure simultanément la perte de charge dans les voies et la chute de tension le long des enveloppes de câbles, en disposant les deux voltmètres de manière que les lectures puissent être constamment comparées ; si les variations incessantes des deux aiguilles coïncident, on peut en conclure que le courant qui circule le long des voies et celui qui circule le long des enveloppes de câbles ont bien la même origine.

Avec la pratique, on arrive à connaître, pour une section déterminée, la valeur de la chute de tension le long des câbles et même celle de la différence de potentiel entre rails et câbles qui correspondent à une situation normale (puisque le plus souvent on ne peut faire disparaître le courant dérivé) ; lorsque cette valeur est dépassée, on est conduit à en rechercher la cause.

Or une augmentation de chute de tension ou de différence de potentiel entre rails et câbles peut être attribuée à d'autres causes qu'à un défaut dans les voies ou à une résistance anormale du circuit de retour ; elle peut être attribuée, par exemple, à une perturbation du trafic, plusieurs voitures se succédant à intervalles rapprochés, ou bien à une augmentation accidentelle ou passagère de la fréquence de circulation des voitures, ou bien encore à une résistance moindre du sol par suite de pluies abondantes ou de neige fondante. Quelquefois ces causes apparaissent nettement ; on attend alors les résultats de nouveaux essais avant de prévenir la société exploitante ; si l'anomalie persiste, cette société est avisée et priée de procéder sans retard aux recherches et travaux nécessaires ; lorsque des défectuosités sont relevées dans les connexions de voie, on observe souvent au voltmètre une diminution progressive du courant dérivé au fur et à mesure de l'avancement des travaux de réfection.

Mais il arrive aussi qu'après l'achèvement de ces travaux le situation ne soit pas sensiblement modifiée ; le courant dérivé peut provenir d'une autre section du réseau ; les recherches sont souvent difficiles et l'on trouve parfois, sur une même ligne de câbles, deux ou trois courants dérivés d'origines différentes ; en ce cas, les mesures de différence de potentiel entre câbles et rails, conduites d'eau ou de gaz, masses métalliques, donnent quelquefois des indications utiles, surtout lorsque le courant de traction peut être coupé successivement, pendant deux ou trois minutes, sur chacun des réseaux intéressés.

Le courant dérivé des rails est, en général, caractérisé par des variations incessantes de la chute de tension ; lorsqu'il s'agit d'une dérivation de courant d'un feeder positif ou du fil de contact (par suite du mauvais isolement d'un appui, par exemple),

l'aiguille du voltmètre reste au contraire à peu près fixe ; c'est aussi le cas lorsque du courant est dérivé des câbles de la Compagnie parisienne de distribution d'électricité, dans les secteurs où elle utilise le courant continu avec distribution à trois fils (neutre à la terre) ou à cinq fils.

Enfin, souvent, le courant dérivé parvient sur la ligne de câbles par l'intermédiaire d'une canalisation tierce ; c'est ainsi que l'on a constaté l'électrolyse d'enveloppes de câbles dans une région où les rails voisins étaient constamment positifs par rapport à ces enveloppes formant ainsi cathodes ; mais ces enveloppes étaient elles-mêmes positives, c'est-à-dire anodes, par rapport à une canalisation d'eau qui aboutissait à la sous-station des tramways. D'ailleurs les courants dérivés peuvent n'être dangereux que pendant quelques heures dans la journée (en général par suite de trafic intense à ces heures) ; alors la perte de charge dépasse de beaucoup les limites imposées, sans que les règlements cessent d'être observés car les valeurs limites doivent être les moyennes de toute la durée du trafic, ou même de 24 heures. Habituellement, il suffit de signaler ces situations dangereuses et de formuler les réserves nécessaires ; mais, en cas de besoin, le décret-loi du 27 décembre 1851 (protection des lignes télégraphiques de l'État) est, comme nous l'avons déjà dit, d'une application plus précise et moins malaisée que la loi du 15 juin 1906.

Moyens employés pour réduire la durée, l'importance et l'action des courants dérivés. — Nous avons vu qu'en alimentation normale, c'est-à-dire quand les fils de contact sont reliés à la barre positive à la sous-station, le courant dérivé s'échappe des canalisations aux environs des points d'attache des feeders négatifs aux rails ; si, au contact des surfaces d'échappement, il existe une substance électrolysable, par exemple de l'eau chargée de sels, le radical acide de ces sels se porte sur la canalisation qui forme anode, et l'attaque de cette canalisation peut se produire ; elle est d'ailleurs plus rapide pour le plomb que pour le fer et le cuivre (un courant d'un ampère,

pendant un an, peut détruire au moins 5 kilogrammes de fer ou 11 kilogrammes de cuivre ou 19 kilogrammes de plomb) ; une fois commencée, elle continue plus facilement sur les surfaces attaquées, et c'est pour cette raison qu'elle s'exerce en profondeur ; les points attaqués offrent ainsi l'aspect de cratères isolés s'il s'agit de câbles télégraphiques ou téléphoniques ; l'enveloppe de plomb ainsi attaquée peut être perforée et les conducteurs peuvent être mis à la terre plus ou moins rapidement ; l'accident peut devenir beaucoup plus grave en cas d'inondation du câble (à la suite d'un orage, par exemple) et de pénétration de l'eau à l'intérieur de son enveloppe.

Aussi semble-t-il intéressant de recommander les dispositifs de protection des enveloppes de plomb ou ceux qui permettent l'attaque superficielle et non en profondeur (câbles armés, câbles à deux enveloppes de plomb séparées par un isolant non électrolysable, etc...).

L'importance des dégâts est fonction de la quantité d'électricité mise en jeu, c'est-à-dire de la durée de l'attaque et de l'intensité du courant parasite. Tous les efforts doivent donc tendre à réduire l'intensité du courant dérivé et à diminuer la durée de son action. Il est évident que c'est aux compagnies de traction qu'il appartient tout d'abord de prendre, à cet effet, les dispositions utiles, que l'on peut résumer comme il suit :

a) choix judicieux de l'emplacement de nouvelles sous-stations ;

b) surveillance des feeders négatifs (isolement et débit) ; équilibrage de ces feeders de manière à répartir le débit entre eux ; recherche des meilleures positions de liaison aux rails ;

c) amélioration de la conductance des voies ; remplacement des sections en voie simple par des sections en voie double ; vérification des liaisons aux rails des différentes connexions (connexions de joints, connexions transversales, connexions d'aiguillages, de traversées de voies ferrées ou de ponts mobiles, etc...) ;

d) vérification périodique des différences de potentiel entre

rails et canalisations, ou masses métalliques voisines, ou terre, ainsi que de la chute de tension le long des voies.

Au point de vue dont il s'agit, le rôle du service du contrôle des P. T. T. de la région parisienne a consisté principalement à organiser des essais périodiques (mesures de différences de potentiel entre câbles et rails, de chutes de tension le long des enveloppes de câbles, etc...) dont les résultats sont consignés dans un registre ; la comparaison des résultats d'une période à ceux des périodes antérieures permet ainsi de juger s'il y a eu amélioration ou non. Un relevé des résultats des essais est renvoyé, à peu près tous les mois, aux sociétés de traction intéressées, ainsi qu'aux services de construction des lignes télégraphiques et téléphoniques de Paris et de la banlieue et à la Société du gaz de Paris [1].

Lorsque les résultats des essais sont tels qu'il y a lieu de craindre un accident, la société de traction est avisée sans délai, avec prière de procéder d'urgence aux recherches et aux réparations nécessaires. La perforation des enveloppes de plomb des câbles par électrolyse peut être assez rapide, si le courant dérivé est intense ; dans les cas les plus graves, elle demande, en général, plusieurs semaines, en sorte que la surveillance exercée, par voie d'essais périodiques, peut donner des résultats très efficaces en réduisant la durée d'action des courants parasites. C'est ainsi que, depuis quatre ans, on a pu éviter un grand nombre d'accidents en provoquant l'intervention, en temps utile, des divers services intéressés. Les essais ont également eu pour résultat de provoquer le détournement ou le changement de parcours des câbles, particulièrement menacés dans certains égouts très humides ou dont les eaux renferment des agents chimiques susceptibles de favoriser et de hâter l'attaque des enveloppes de plomb. On peut se rendre compte, d'après cet

(1) Une entente est intervenue avec cette société, qui signale au service du Contrôle (P.T.T.) les accidents survenus sur ses canalisations, ce qui provoque des recherches sur les câbles télégraphiques ou téléphoniques voisins du lieu de l'accident qui peuvent ou auraient pu être atteints.



exposé, que, pour pouvoir procéder utilement aux recherches et aux essais, il est nécessaire de connaître à la fois les réseaux industriels et le réseau des câbles de l'État ; aussi est-ce par la loyale collaboration des représentants de ces réseaux que les meilleurs résultats ont été obtenus jusqu'ici.

DISPOSITIF D'AVANCEMENT DE LA BANDE DANS LA PERFORATRICE ET DANS L'IMPRIMEUR CREED.

Par REUFFLET,
Ingénieur des Télégraphes.

(L'appareil de transmission automatique Wheatstone, qui utilise le code Morse, fonctionne au moyen d'une bande perforée. Cette bande est préparée par la perforatrice Creed. A la réception, on obtient une bande perforée identique ; cette bande peut

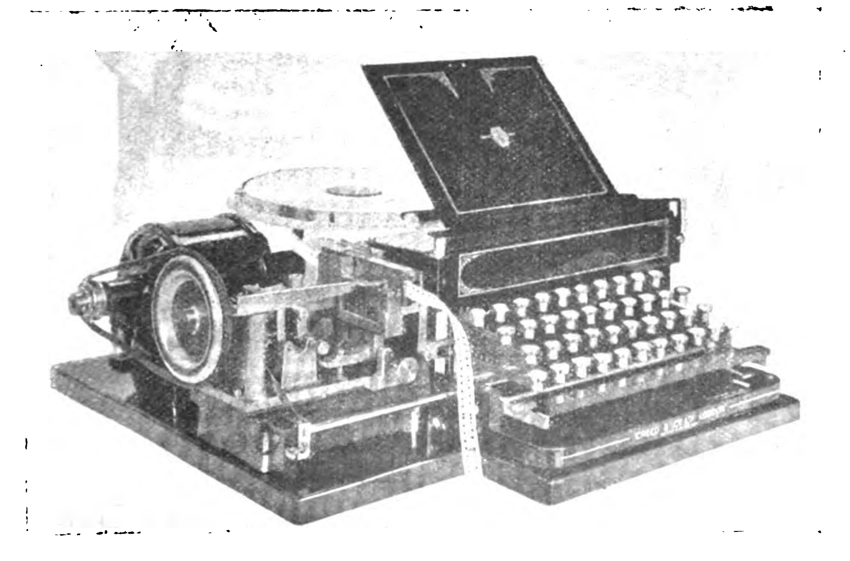


Fig. 1. — Perforatrice Creed.

servir éventuellement pour une retransmission ; sinon, l'imprimeur Creed en donne une traduction en caractères d'imprimerie.

Dans la perforatrice, comme dans l'imprimeur, on s'est trouvé en présence d'un problème dont la solution a présenté pendant longtemps d'assez grandes difficultés de réalisation. Il s'agit de faire avancer la bande d'une longueur variable (depuis

un seul espacement, par exemple, pour la lettre *e*, jusqu'à dix pour le chiffre *o*), suivant la touche du clavier qui est abaissée dans la perforatrice, ou suivant la lettre imprimée dans l'imprimeur.

Le présent article décrit le système d'avancement de la bande dans les deux appareils : on pourra comparer les solutions

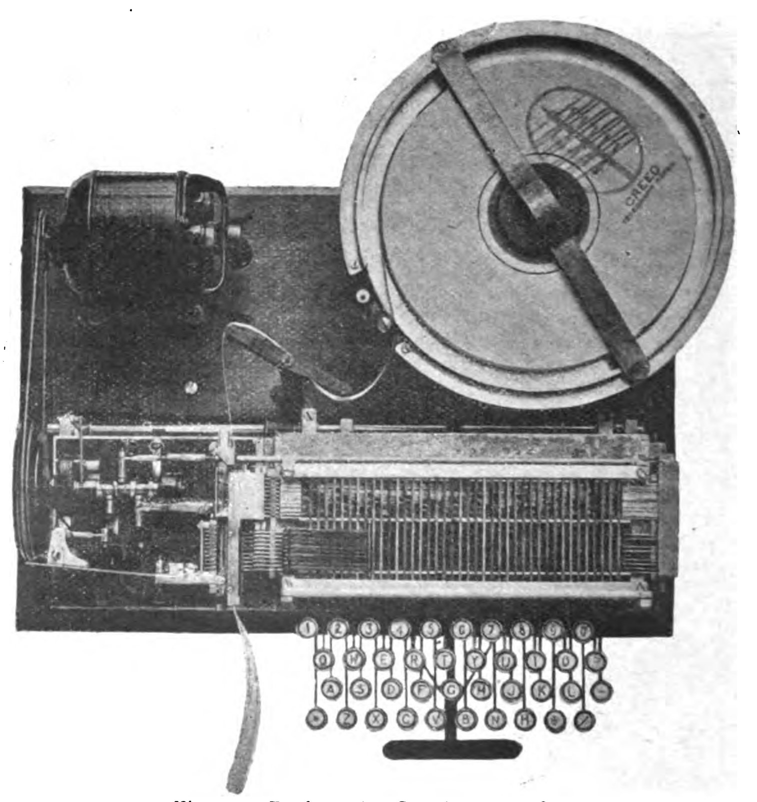


Fig. 2. — Perforatrice Creed vue en plan.

qui y ont été adoptées, peu différentes d'ailleurs en principe : pour la perforatrice, flexion variable d'un levier, limitée par une butée mise en œuvre par l'abaissement de la touche ; pour l'imprimeur, déplacement variable d'une crémaillère commandant l'avancement, limitée par un levier d'espacement mis en œuvre par les aiguilles sélectrices. — P. Mocquart, ingénieur.)

I. Perforatrice.

Le déclenchement de la machine (fig. 1 et 2) se fait au moyen du levier L (fig. 3), qui commande tout le mécanisme, celui de perforation et celui d'avancement, en mettant en route l'arbre à cames. Ce levier est tiré en arrière (fig. 3 et 4) par la

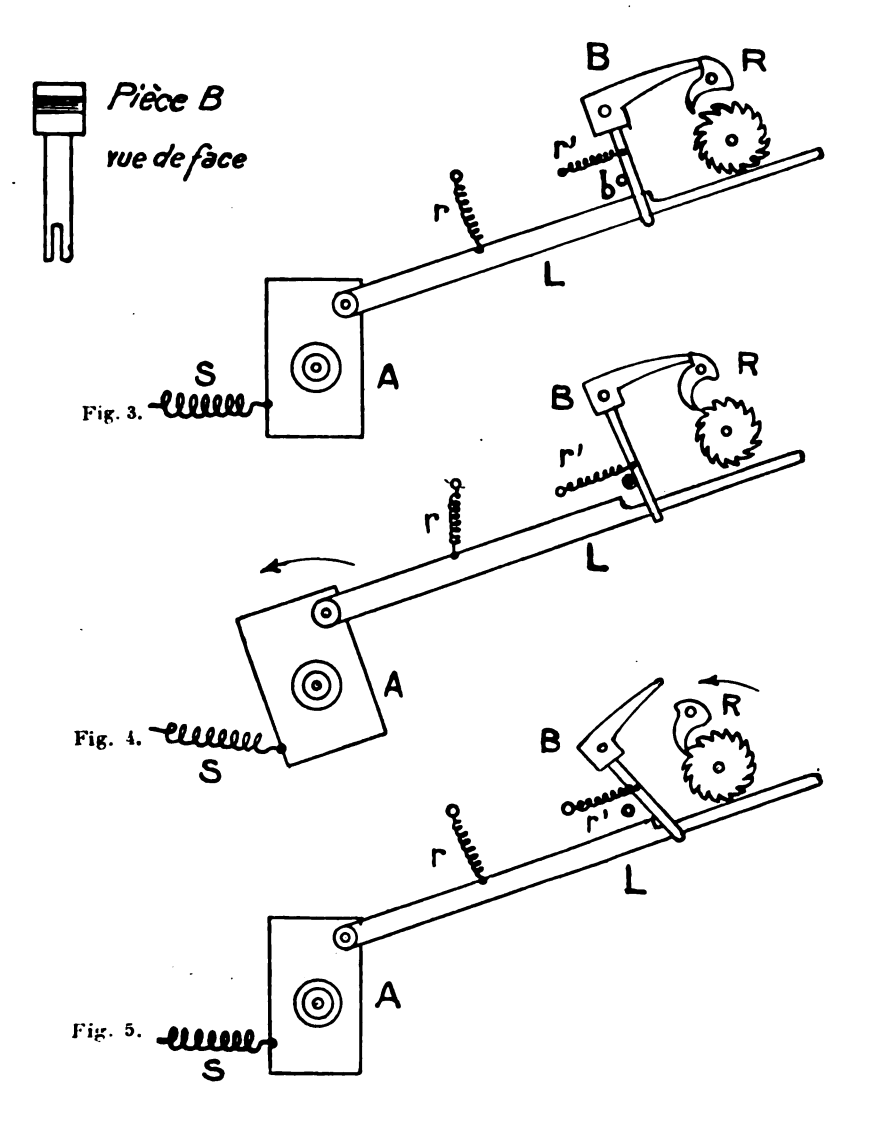


Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.

rotation de la pièce A, rotation actionnée, au moyen d'un axe commun, par l'une quelconque des touches. La pièce B, en forme de marteau, maintient au repos la dent D, solidaire de l'arbre à cames en dehors de la roue à rochets R, clavetée sur l'arbre du moteur. Après rotation de la pièce A (fig. 4), le ressort *r* oblige le levier L à se placer de telle façon que la fourchette de la pièce B se trouve derrière la butée du levier L ; la pièce B est elle-même retenue par une autre butée *b*. Lorsqu'on lâche la touche, le ressort S ramène la pièce A (fig. 5), et le levier L

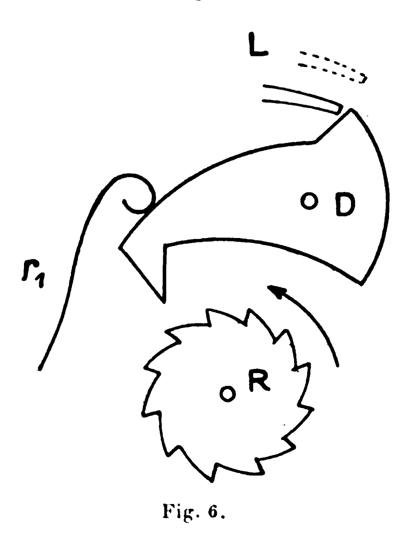


Fig. 6.

reprend sa position primitive en poussant devant lui la branche inférieure de B ; la branche supérieure se relève et dégage la dent D, qui s'engage, du fait du ressort r_1, entre les dents de la roue à rochets R (fig. 6). Le moteur met alors en route

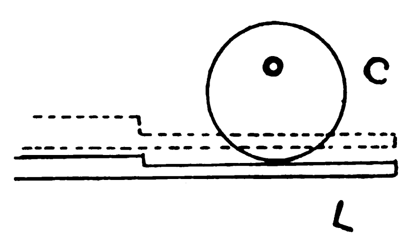


Fig. 7.

l'arbre à cames, qui va commander perforation et avancement. Au bout d'un tour complet, une came excentrique ramène le levier L à sa position de repos (fig. 7). Le ressort r' ramène la

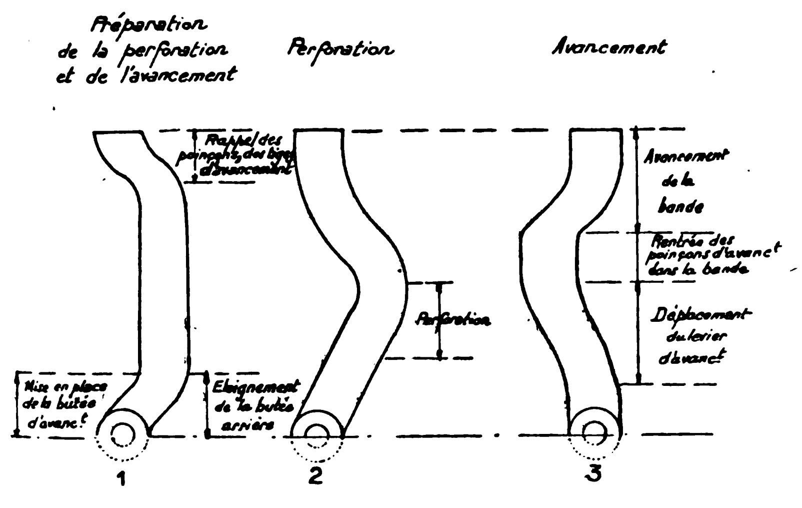


Fig. 8.

pièce B, qui vient relever la dent D en dehors du rochet, et l'arbre à cames s'arrête, toutes les pièces revenant dans les positions primitives.

Sur cet arbre, sont creusées trois rampes (fig. 8), dans lesquelles glissent respectivement trois galets, qui commandent dans l'ordre :

1° la possibilité du déplacement, vers la droite, des poinçons inutilisés et des tiges commandant les butées d'avancement ;

2° la poussée de la bande vers la droite pour la perforation ;

3° le système d'avancement.

Nous nous bornerons, en ce qui concerne les deux premiers mouvements, à indiquer ici les trois développements des profils des rampes (fig. 8) et les époques où se produisent ces différentes opérations. Au point de vue du mécanisme, les deux premières n'offrent aucune difficulté spéciale ; les poinçons utiles sont simplement retenus à l'aide d'un certain nombre de crans correspondant à la touche appuyée ; les poinçons inutiles sont repoussés

vers la droite par la bande elle-même, l'espace étant dégagé par le mouvement de gauche à droite du levier commandé par le galet n° 1.

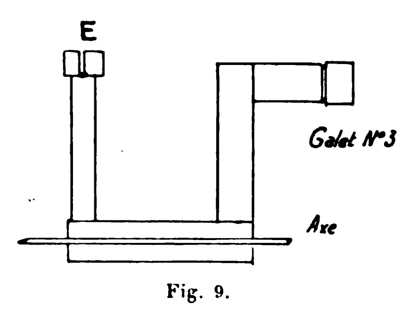


Fig. 9.

L'organe principal du système d'avancement est le levier d'avancement L'. Il est commandé par une pièce verticale en forme d'U (fig. 9), mobile autour d'un axe situé à sa partie inférieure ; la branche de droite aboutit au galet n° 3 : l'extrémité supérieure de la deuxième branche va donc copier les mouve-

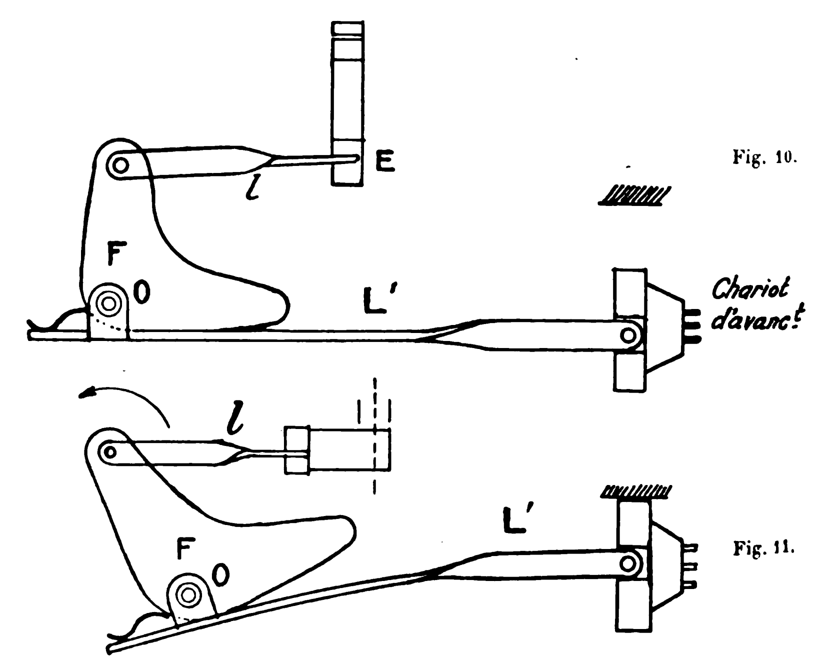


Fig. 10.

Fig. 11.

ments du galet et se déplacer horizontalement suivant la position de ce dernier.

Dans la rainure E, vient se fixer un petit levier l, commandant la pièce F mobile autour de son axe O (fig. 10). A cet axe O, est fixé le levier d'avancement L′, en acier très souple (fig. 8), présentant une torsion d'un quart de tour afin d'avoir plus de solidité.

Le levier d'avancement est situé au repos le long de la pièce F. Quand le galet suit la rampe et que le levier l est poussé de droite à gauche, la pièce F tourne également de droite à gauche, et le levier L′ suit le mouvement jusqu'à ce que son extrémité vienne en contact avec une butée. Nous verrons tout à l'heure que l'espace parcouru par l'extrémité est précisément égale à l'avancement à réaliser. Ici, se place l'ingéniosité du système : la pièce F tourne d'un angle constant, quelle que soit la touche appuyée; le levier L′, grâce à l'arrondi de la pièce F au voisinage de l'axe, peut quitter le contact de cette pièce (fig. 11). Selon l'espace parcouru par l'extrémité du levier L′, il se courbe plus ou moins; mais son élasticité est suffisante pour qu'il reste constamment bien au-dessous de la limite élastique du métal.

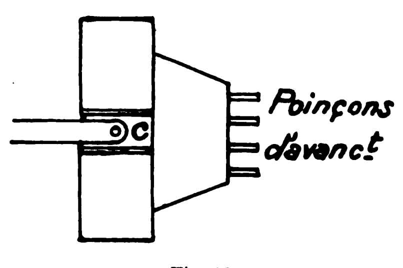


Fig. 12.

Le problème de la transformation d'une rotation fixe en une translation variable est ainsi résolu d'une manière très simple.

Il reste maintenant à réaliser l'arrêt du levier et l'avancement proprement dit. L'extrémité du levier est tout d'abord en liaison avec le chariot d'avancement, mobile sur glissière et portant les poinçons d'avancement (fig. 12). Sur le chariot, est placé une petite pièce c mobile latéralement et portant un ergot sur lequel vient se placer l'extrémité du levier d'avancement. La mobilité de cette pièce permet de transformer sans heurt le

mouvement légèrement curviligne de l'extrémité du levier en mouvement rectiligne du chariot. Le chariot porte à droite les poinçons d'avancement, qui s'engageront dans les orifices médians de la bande.

Il suffit donc de réaliser l'arrêt du chariot au moyen de butées plus ou moins éloignées venant se placer sur son passage. A cet effet, dix butées, guidées par une pièce à dents fixes G (fig. 13) à raison d'une butée par dent, sont solidaires de tiges horizontales pouvant elles-mêmes se mouvoir vers la droite, à l'aide de ressorts, quand la came n° 1 a permis le déplacement *ab* du butoir postérieur. Au moyen de crans, chaque touche abaissée bloque neuf tiges sur dix, la dixième (libre) correspondant à l'espacement à réaliser.

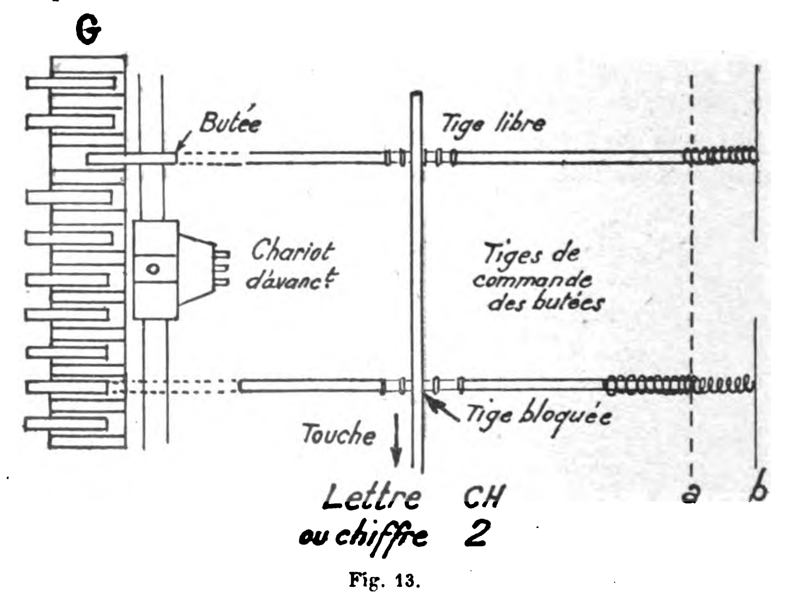


Fig. 13.

Ainsi la lettre *e* laissera libre la première tige et bloquera les neuf autres : la première butée sera ainsi placée sur le passage du chariot, et celui-ci s'arrêtera quand il aura parcouru un espacement ; pour la lettre *l*, la cinquième tige sera libérée, les quatre premières bloquées, et le chariot parcourra les cinq espacements nécessaires, et ainsi de suite.

Nous avons vu, d'autre part, que le galet n° 2 aura eu pour effet de déplacer la bande vers la droite pour provoquer la perforation. Pendant le même temps, le chariot d'avancement s'est déplacé de la quantité voulue. La bande revient alors, par l'effet de la rampe n° 2, à sa position de repos, et les poinçons d'avancement pénètrent dans les orifices médians. Le galet n° 3 ramène le levier d'avancement à sa position de repos (fig. 10) ; et la bande, solidaire de ce levier, avance alors du nombre d'espacements correspondant à la lettre appuyée.

Enfin le galet n° 1 ramène en fin de course la butée extrême, ce qui a pour effet de replacer les tiges de poinçons et les tiges de butée à leurs positions de repos.

L'appareil est prêt de nouveau pour perforer une nouvelle lettre.

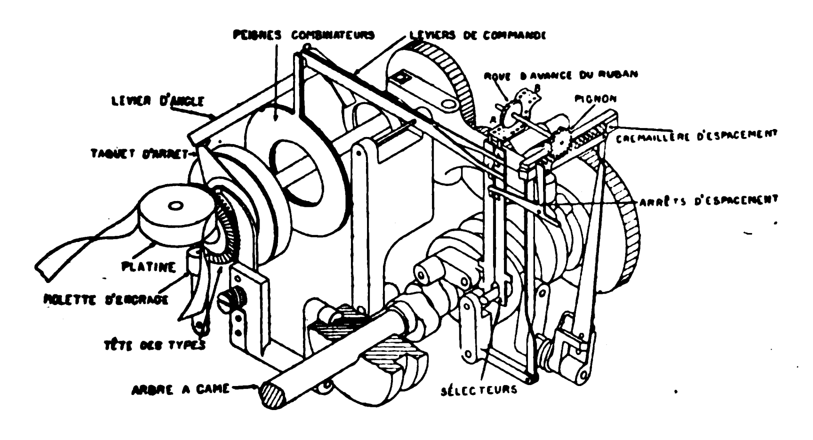


Fig. 14. — Mécanisme de l'imprimeur Creed.

Le mouvement de toutes ces pièces est pour ainsi dire instantané, et l'on peut atteindre les plus grandes vitesses réalisées à la machine à écrire, à condition de régler convenablement les ressorts, principalement le ressort S de rappel de la pièce A, qui commande tout le départ de la machine.

Le mécanisme de cette perforatrice constitue un très sensible progrès, par sa souplesse et sa faible inertie, sur celui des anciennes perforatrices Kleinschmidt à électro-aimant.

II. Imprimeur.

Le bloc sélecteur comprend vingt sélecteurs (fig. 15), situés

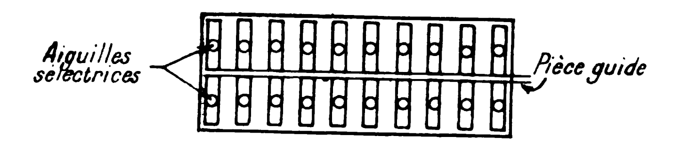


Fig. 15. — Bloc sélecteur.

deux à deux sur la même verticale, de façon à pouvoir enregistrer toutes les combinaisons, depuis l'*e*, la plus courte (1 espacement), jusqu'au zéro, la plus longue (10 espacements).

Une paire de sélecteurs, vue en élévation, présente (fig. 16) :

1° deux aiguilles destinées à pénétrer, s'ils existent, dans les trous correspondants du papier bande ;

2° deux ergots situés sur la même ligne, qui serviront à l'avancement ;

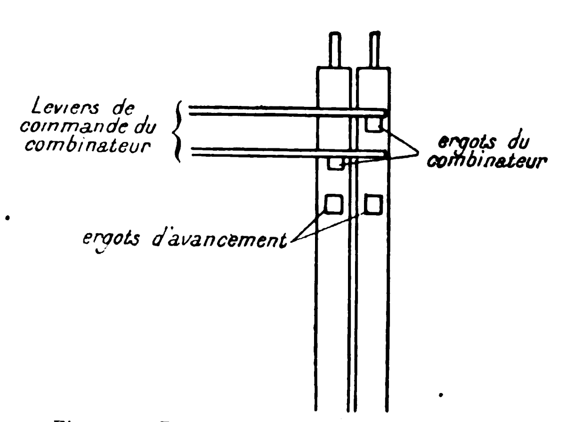


Fig. 16. — Paire de sélecteurs vue en élévation

3° deux ergots, décalés l'un par rapport à l'autre, qui serviront à l'enregistrement de la combinaison dans le combinateur à l'aide des leviers de commande correspondants.

A chaque paire de sélecteurs, correspond (fig. 17) une pièce à deux branches appelée *levier d'espacement*. Cette pièce est

maintenue constamment en contact avec l'un au moins des deux ergots d'avancement à l'aide du ressort *r*. Lorsque l'excentrique commandant l'avancement du bloc poinçonneur a fait entrer

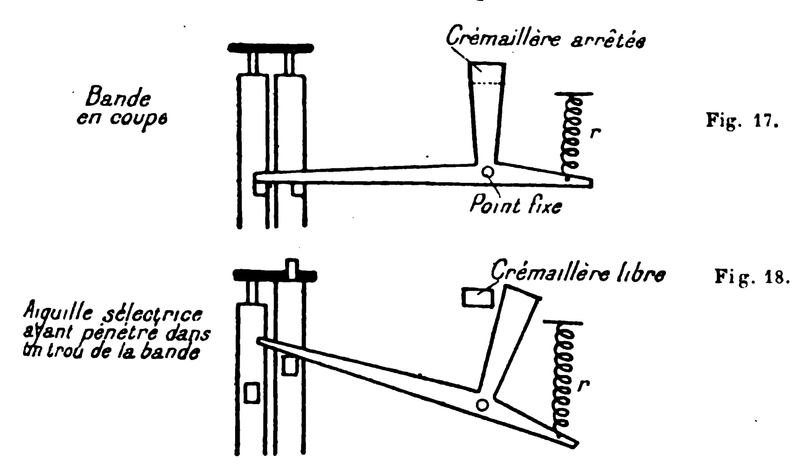


Fig. 17.

Fig. 18.

dans un trou de la bande l'une des aiguilles sélectrices, la partie verticale du levier d'espacement correspondant est rejetée en arrière et ouvre le passage à la crémaillère d'avancement (fig. 18).

Cette crémaillère, mise en route par un autre excentrique au moment même où les sélecteurs se mettent en mouvement, avance jusqu'à ce qu'elle rencontre la partie verticale d'un levier

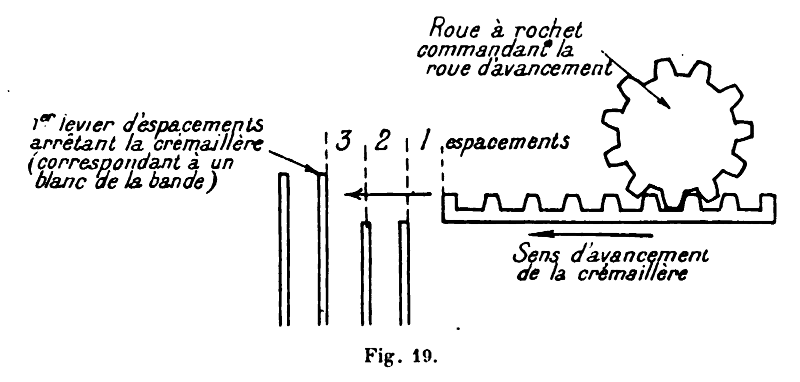


Fig. 19.

d'espacement qui est resté en place. Ce levier n'a pu rester en place que si la bande présentait un espacement blanc, c'est-à-

dire la fin d'une lettre. Dans ce mouvement, elle est dégagée de la roue à rochets commandant la roue d'avancement.

La figure 19 représente la crémaillère qui va parcourir trois espacements (lettres *t* ou *i*, fig. 20).

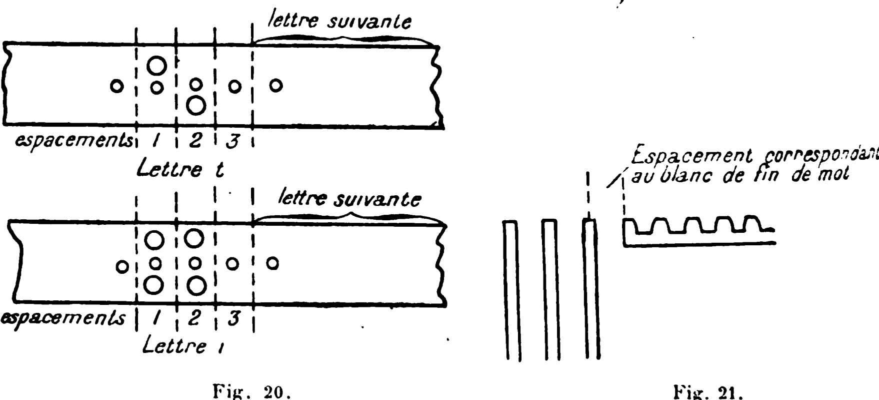


Fig. 20. Fig. 21.

Après la sélection et l'impression, la crémaillère revient en arrière sous l'action de l'arbre à cames et fait avancer d'un cran pour chaque espacement une roue à rochets commandant la roue à pointes pénétrant dans les orifices médians de la bande et provoquant l'avancement.

Nous voyons donc que la bande va avancer de toute la longueur de la lettre plus le blanc d'intervalle et sera prête pour recevoir l'enregistrement de la lettre suivante. S'il y avait deux espacements blancs consécutifs (fin d'un mot), aucune combinaison ne se produirait pour le deuxième blanc ; mais la crémaillère avancerait d'un espacement, distance séparant son extrémité du premier levier d'espacement (fig. 21) et la bande serait de nouveau prête pour l'enregistrement d'une lettre. Sitôt la combinaison enregistrée, les cames de l'arbre à cames font revenir dans la position de repos la crémaillère et les sélecteurs. Les ressorts ramènent les leviers d'avancement à leurs positions initiales, et l'appareil est prêt à fonctionner pour l'impression de la lettre suivante.

LA TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE RAPIDE [1]

Par K.-W. WAGNER.

I. HISTORIQUE.

Jusqu'ici, la télégraphie sous-marine était considérée comme la branche la plus conservatrice de l'électrotechnique. Ses principes fondamentaux ont été posés entre 1850 et 1870, époque que l'on peut regarder comme les temps héroïques de la télégraphie sur câble. Jusqu'à ces dernières années, on avait conservé, sans y apporter de sérieuses modifications, les types de câble, les méthodes d'exploitation, les montages et les appareils adoptés à cette époque déjà lointaine. Après 1870, l'électrotechnique fit des progrès considérables, mais les années passèrent sans laisser, pour ainsi dire, de trace dans le domaine de la télégraphie sous-marine. On réalisa bien quelques légers perfectionnements ; mais rien de vraiment nouveau ne fut introduit dans cette branche de la télégraphie. Les réseaux de câbles sous-marins prenaient une extension considérable ; ils devenaient un auxiliaire indispensable du trafic international et par contre-coup un facteur vital de l'économie politique mondiale ; enfin ils constituaient, pour les compagnies de câbles, une source de revenus importants. Pourtant cette extension remarquable se produisait sans qu'un progrès vraiment digne de remarque fût réalisé dans la technique des câbles sous-marins. La télégraphie sous-marine semblait honorer le principe du dragon Fafnir : « J'y suis ; j'y reste ; laissez-moi dormir. » La radiotélégraphie fut le Siegfried qui tira le nouveau dragon de son sommeil. Lorsqu'elle fut étendue au trafic intercontinental et qu'elle se posa

---

(1) Traduction d'un article paru dans les *Elektrische Nachrichten* : 1924, p. 114.

en concurrente sérieuse de la télégraphie sous-marine, celle-ci commença de s'éveiller. Et il semble que, ayant retrouvé l'élan de ses jeunes années, elle veuille repartir à la conquête de nouveaux sommets.

Pour être équitable envers la télégraphie sous-marine, ajoutons quelque faits à la poétique histoire du dragon. Les progrès récents réalisés dans ce domaine reposent, comme ceux qui ont été réalisés en T.S.F., sur une invention importante qui remonte à moins de vingt ans, et qui n'a reçu d'applications vraiment pratiques qu'au cours de la grande guerre ; j'ai nommé les *tubes à vide*. Nous verrons plus loin que *les principes des progrès réalisés récemment dans la construction des câbles sous-marins étaient déjà connus, mais que seul le perfectionnement des tubes à vide a permis de passer de la théorie à la pratique.*

II. Le câble Thomson.

1. Théorie de W. Thomson. — C'est William Thomson (Lord Kelvin)[1] qui posa les principes de la construction et de l'utilisation des longs câbles télégraphiques. Il reconnut que la lenteur de la transmission des signaux sur les câbles de grande longueur dépendait principalement de la résistance et de la capacité des conducteurs. La tension U et l'intensité I, exprimés en fonction de la distance x qui sépare un point du circuit de l'extrémité transmettrice du câble, et le temps t, sont liés par les équations différentielles :

$$-\frac{\partial U_x}{\partial x} = R I_x \, ; \qquad -\frac{\partial I_x}{\partial x} = C \frac{\partial U_x}{\partial t}, \qquad (1)$$

où R = résistance par unité de longueur (1 km),
et C = capacité par unité de longueur (1 km).

Appelons l la longueur du câble ; les formules (1) peuvent s'écrire :

$$-\frac{\partial U_x}{\partial \left(\frac{x}{l}\right)} = R\, l\, I_x \, ; \qquad -\frac{\partial (R\, l\, I_x)}{\partial \left(\frac{x}{l}\right)} = \frac{\partial U_x}{\partial \frac{t}{C R l^2}}. \qquad (1\,a)$$

(1) *London Royal Society Proceedings*, 1855 ; *Math. and phys. papers*, vol. 2, p. 61.

On voit que U_x et $Rl\,I_x$ ne dépendent que de $\frac{x}{l}$ et de $\frac{t}{CRl^2}$. Posons :

$$\tau = \frac{t}{CRl^2}, \tag{2}$$

et appelons τ le temps électrique ; c'est un nombre pur. CRl^2 est appelé *constante de temps* du câble ; elle s'exprime en secondes.

2. Les signaux télégraphiques. — Les signaux télégraphiques sont formés par des émissions de courant électrique ; à l'extrémité transmettrice du câble on applique par intermittence

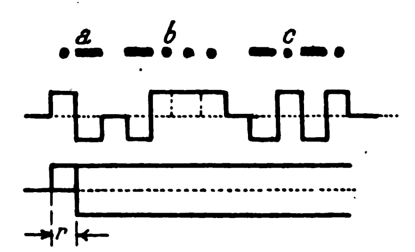


Fig. 1. — Les lettres *a*, *b*, *c*, en code Morse et dans le code de l'enregistreur à siphon.

une tension positive ou négative (en courant continu), puis on met le câble à la terre pendant le reste du temps. Appelons E cette tension. Dans le système à enregistreur à siphon (siphon recorder), qui utilise le code Morse, les points sont représentés par des émissions de courant positif d'une certaine durée et les traits par des émissions de courant négatif d'égale durée ; aucun courant n'est émis dans les intervalles qui séparent deux lettres ou deux mots consécutifs. La première ligne de la figure 1 représente les lettres *a*, *b* et *c* en code Morse ; la seconde ligne, les mêmes lettres dans le code de l'enregistreur à siphon. La troisième ligne montre qu'une émission de courant positif, de durée T sous la tension E, est équivalente à l'effet soutenu d'une tension positive E, à laquelle, à l'expiration du temps T, s'ajoute l'effet soutenu d'une tension négative E d'égale grandeur. Par conséquent, on peut former les signaux transmis sur câble au moyen

d'émissions de courant qui sont produites par une tension E en courant continu (positive ou négative) appliquée à un moment donné ($t = 0$).

3. Forme des impulsions de courant à l'extrémité réceptrice. — Deux cas méritent de retenir plus particulièrement l'attention.

a) *Le câble est shunté à l'extrémité réceptrice*, ou, ce qui revient au même pratiquement, le câble est mis à la terre à travers un appareil récepteur de faible résistance. W. Thomson a calculé l'*intensité* du courant qui, en pareil cas, *passe du câble*

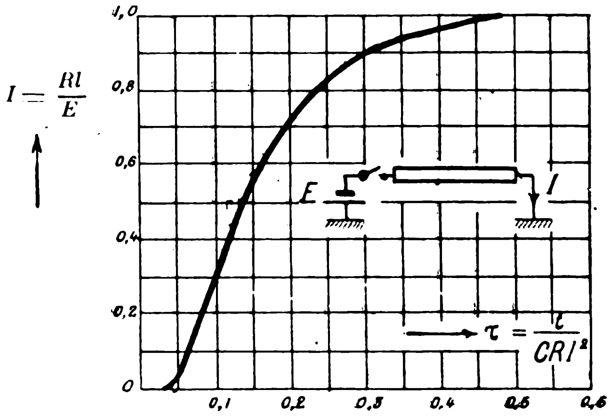


Fig. 2. — Courbe de Thomson. Accroissement de l'intensité I à l'extrémité réceptrice shuntée (mise à la terre) d'un câble de grande longueur.

dans l'appareil récepteur. La figure 2 représente cette intensité, c'est la *courbe de Thomson*, comme on l'appelle d'ordinaire.

Pour un intervalle de temps inférieur à $\tau = 0{,}02$, le courant est extraordinairement faible ; pour $\tau = 0{,}14$, il atteint environ 50 % de sa valeur finale ; pour $\tau = 0{,}3$ et pour $\tau = 0{,}575$, il atteint respectivement 90 et 99 % de sa valeur finale. Si nous prenons comme exemple un câble transocéanique long de 4.000 kilomètres, ayant, par kilomètre, une capacité C égale à 0,23 μF/km et une résistance R égale à 1,2 Ω/km, la constante de temps CRl^2 est égale à $4^s{,}43$. Pour les temps électriques indiqués plus haut, on a, pour un câble de ce genre, la correspondance suivante :

$\tau = 0{,}02 \quad 0{,}14 \quad 0{,}3 \quad 0{,}575$
$t = 0{,}089 \quad 0{,}62 \quad 1{,}33 \quad 2{,}54$ secondes.

Ainsi le courant ne s'accroît que très lentement.

b) *A l'extrémité réceptrice, le câble est relié à un appareil ayant une résistance élevée*, ce qui revient à dire, comme cas limite, que l'extrémité réceptrice du câble est ouverte (isolée). En pareil cas, on trace la courbe de la tension U comme la courbe de Thomson ; la figure 3 montre le résultat obtenu ; pour

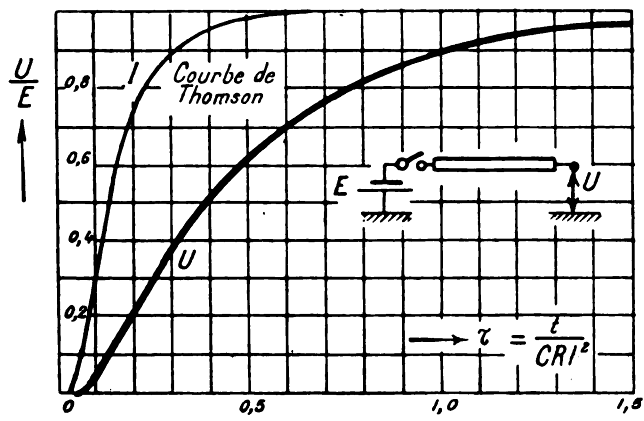


Fig. 3. — Accroissement de la tension U à l'extrémité ouverte (isolée) d'un long câble.

faciliter la comparaison, la courbe de I a été reproduite en trait fin sur cette figure. *La tension s'accroît encore plus lentement que l'intensité* à l'extrémité shuntée du câble ; elle ne présente de valeurs appréciables que pour les valeurs de τ supérieures à 0,04 environ ; elle atteint 50, 90 et 99 °/₀ de sa valeur définitive quand τ est respectivement égal à 0,38, 1,03 et 1,9. Dans le cas du câble transocéanique défini plus haut, à ces valeurs correspondent les temps suivants :

$\tau = 0{,}04 \quad 0{,}38 \quad 1{,}03 \quad 1{,}9$
$t = 0{,}18 \quad 1{,}69 \quad 4{,}56 \quad 8{,}45$ secondes.

4. Durée d'émission des signaux et vitesse de transmission. — Nous allons examiner comment se présentent à l'arrivée les signaux télégraphiques transmis sur un long câble, et avec quelle vitesse ils se succèdent, c'est-à-dire quelle est la

vitesse de transmission télégraphique. Nous prendrons le cas le plus favorable (appareil récepteur de faible résistance) ; l'intensité du courant croît alors comme le montre la courbe de Thomson (fig. 2). Pour augmenter la vitesse de transmission, on rapproche le plus possible l'une de l'autre les émissions successives ; il ne faut toutefois pas aller trop loin, sous peine de voir les signaux se brouiller à l'arrivée. On a représenté, sur la figure 4, les lettres *a*, *b*, *c*, *en prenant la valeur* $\tau = 0,15$ *comme intervalle de temps entre deux impulsions de courant* ; lorsque la seconde impulsion commence, la première a déjà atteint 50 %

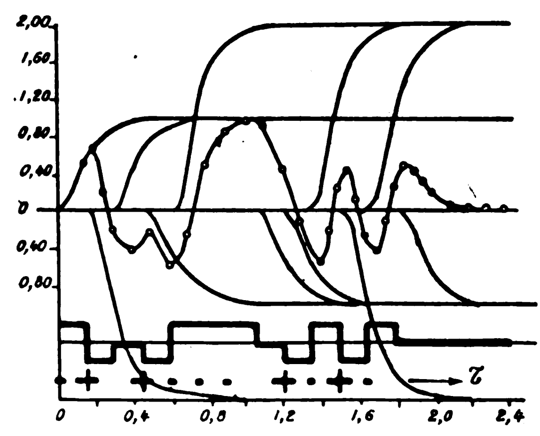


Fig. 4. — Arrivée des lettres *a*, *b*, *c*, à l'extrémité mise à la terre d'un long câble (lettres transmises en signaux non raccourcis).

de sa valeur définitive. Nous appellerons durée d'un signal ou plus simplement *signal* l'intervalle de temps qui s'écoule entre deux impulsions successives. Par exemple, la lettre *a* se compose de deux signaux, la lettre *b* de quatre signaux et la lettre *c* de quatre signaux également. L'intervalle entre deux lettres est égal à la durée d'un signal ; l'espace entre deux mots équivaut à deux signaux. Pour calculer des câblogrammes réellement transmis, on a admis que *la longueur moyenne d'un caractère* (*y compris : l'espacement entre caractères correspondant et la partie de l'intervalle entre mots correspondant à chaque caractère*) *est égale à 3 signaux 3/4*. On exprime d'ordinaire la vitesse *n* de transmission en caractères (lettres ou chiffres,

etc...) par minute. Il existe donc la relation suivante entre le nombre n et la durée S d'un signal exprimée en secondes :

$$n = \frac{60}{3{,}75 . S} = \frac{16}{S} . \qquad (3)$$

La durée réelle d'un signal en secondes $S = 0{,}15\ CRl^2$ atteint (dans le cas d'un câble transocéanique) $0^s{,}663$ si $CRl^2 = 4^s{,}43$; ceci correspond à une vitesse de transmission $n = 24$ caractères par minute. Pour une durée $S = 0{,}15\ CRl^2$, les signaux accusent une forte tendance à chevaucher, de sorte qu'une succession d'impulsions de même signe (par exemple pour les trois points de la lettre *b*) produit, à l'arrivée, un courant plus intense qu'une série d'inversions de courant comme il s'en produit pour la lettre *c*.

5. Transmission de signaux bridés (« curbing »). — On obtient des signaux un peu plus nets en interrompant l'émis-

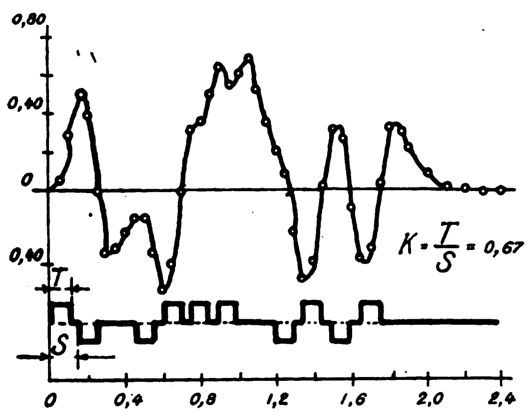


Fig. 5. — Arrivée des lettres *a*, *b*, *c*, à l'extrémité mise à la tête d'un long câble dans le cas d'une transmission de signaux bridés. Coefficient de raccourcissement = 0,67.

sion de courant avant la fin du signal et en mettant le câble à la terre ; le câble peut ainsi se décharger partiellement avant que l'impulsion suivante n'arrive. Mais alors les signaux se trouvent naturellement affaiblis. Ce procédé est appelé *curbing* dans la littérature anglaise ; il est employé depuis longtemps en télégraphie sous-marine. La figure 5 représente les lettres *a*, *b*, *c*,

pour $S = 0,15\,CRl^2$, mais avec une durée d'émission réduite aux 2/3 d'un signal. Le rapport de la durée d'émission réelle T à la durée S d'un signal,

$$k = \frac{T}{S}, \qquad (4)$$

s'appelle le *coefficient de raccourcissement*. Dans le cas présent, $k = 0,67$.

On peut encore lire sans peine la série de lettres représentée sur la figure 5, tandis que, dans le cas de la figure 4, l'espacement entre les caractères *b* et *c* est difficile à reconnaître. Pour les mots composés de lettres formées d'une série de points (par exemple, *heiss* : ···· ·· ··· ···) ou d'une série de traits (par exemple, *Konto* : —·— ——— —· — ———), la lecture est encore plus difficile, au point qu'on ne peut plus transmettre à la vitesse de 24 caractères par minute, même en utilisant la transmission par signaux bridés. Mais alors, si l'on réduit la vitesse de transmission, le service devient onéreux, sur les longs câbles télégraphiques sous-marins toujours très coûteux. C'est pourquoi on s'est efforcé, dès le début, de rendre plus raide la courbe de l'intensité du courant d'arrivée.

6. Amélioration de la courbe de l'intensité du courant d'arrivée par des dispositifs spéciaux montés à l'extrémité du câble. — Un bon moyen pour atteindre ce but consiste à monter

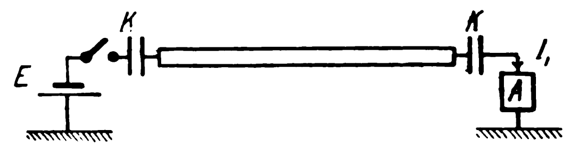


Fig. 6. — Câble muni de condensateurs de blocage.

des condensateurs (¹) aux deux bouts du câble (fig. 6). Un moyen également efficace consiste à placer, à l'extrémité réceptrice, une self-induction ayant une résistance ohmique aussi faible que possible ; ce dispositif porte, dans la littérature anglaise, le nom de *shunt magnétique* (²) ; l'appareil récepteur est monté en paral-

(1) Brevet anglais n° 3453, délivré en 1862 à Cromwell Varley.
(2) Brevet anglais n° 8823, délivré en 1894 à A. Dearlove.

lèle avec la self-induction (fig. 7). La théorie mathématique de la propagation des impulsions de courant dans les câbles munis de dispositifs terminaux quelconques, a été donnée par l'auteur (1) ; l'étude a été reprise ensuite par H. W. Malcolm (2), qui s'est basé sur les méthodes de Heaviside. Un exposé détaillé de

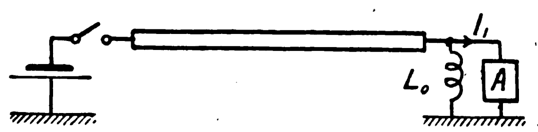


Fig. 7. — Câble muni d'un shunt magnétique.

cette théorie nous entraînerait trop loin. On démontre que, avec les dispositifs représentés sur les figures 6 et 7, l'intensité I_1 du courant, dans l'appareil récepteur varie sensiblement comme la dérivée première de la courbe de Thomson. Si l'on appelle I le courant d'après la courbe de Thomson, on a, dans le cas de la figure 6 :

$$I_1 = \delta^2 CRl^2 \frac{dI}{dt}, \qquad (5)$$

et, dans le cas de la figure 7 ;

$$I_1 = -\frac{L_0}{w} \cdot \frac{dI}{dt}. \qquad (6)$$

Dans ces formules, $\delta = \frac{K}{Cl}$ (rapport de la capacité K du dispositif terminal à la capacité totale Cl du câble) ; L_0 est l'inductance de la self-induction dont la résistance ohmique doit être négligeable, w est la résistance de la bobine réceptrice, qui doit être plus grande que l'impédance de la self-induction pour les fréquences considérées ici. La formule 5 est suffisamment précise pour les petites valeurs courantes de δ, de l'ordre de 0,1. La formule 6 est valable pour toutes les valeurs de L_0 qu'on est susceptible de rencontrer dans la pratique.

Les deux montages envisagés donnent un courant d'arrivée de même intensité si

(1) K.-W. Waguer : *Phys. Zeitschrift*, vol. 10, p. 865, 1909.
(2) H.-W. Malcolm ; *The theory of the submarine telegraph and telephone cable*, Londres, 1917.

$$\delta^2 . CRl^2 = \frac{L_0}{w} . \qquad (6\ a)$$

La résistance w de la bobine de l'enregistreur à siphon est habituellement de quelques centaines d'ohms ; supposons qu'on ait : $w = 500$ ohms ; $CRl^2 = 4,43$; $\delta = 0,1$; alors

$$L_0 = 22^H,\ 15,$$

valeur qui donne une idée de l'ordre de grandeur des self-inductions à employer.

La courbe $\frac{I_1}{I_{1max}}$, représentée sur la figure 8, montre l'allure de l'intensité du courant à l'arrivée, dans le cas d'un câble muni, à son extrémité, d'un condensateur pour lequel $K = 0,1\, Cl$, ou d'une self-induction pour laquelle $L = 0,01\ w\ CRl^2$. L'intensité maximum I_{1max} atteint $0,035 \frac{E}{Rl}$. Si, au départ, la tension n'est pas appliquée d'une manière soutenue, mais seulement pendant le temps très court $T = 0,015\, CRl^2$, on obtient, à l'extrémité réceptrice, une impulsion de courant dont l'allure est indiquée par la courbe marquée $100\, I_2 \frac{Rl}{E}$ (fig. 8). L'expression mathématique de I_2 est évidemment :

$$I_2 = I_1(t) - I_1(t - T) ;$$

étant donné la faible valeur de T, cette formule peut s'écrire :

$$I_2 = T \frac{dI_1}{dt}, \qquad (7)$$

ou encore, en remplaçant I_1 par les valeurs indiquées dans les formules (5) ou (6) suivant le cas :

$$\left.\begin{aligned} I_2 &= T\delta^2 . CRl^2 \frac{d^2 I}{dt^2}, \\ I_2 &= -\frac{L_0 T}{w} \frac{d^2 I}{dt^2} . \end{aligned}\right\} \qquad (7\ a)$$

A la période $T = 0,015\, CRl^2$, période très brève, correspond une impulsion de courant I_2 qui croît et décroît relativement vite, mais aux dépens de l'amplitude. D'après la figure 8,

la valeur maximum est de l'ordre de $0{,}0095 \frac{E}{Rl}$.

Pour le câble transocéanique pris à différentes reprises comme exemple et possédant une résistance $R = 1^{\Omega},2$ par kilomètre, la tension en service I_{2max} égale $99^{\mu A}$ pour une tension E de 50 volts. Il faut alors nécessairement un appareil récepteur

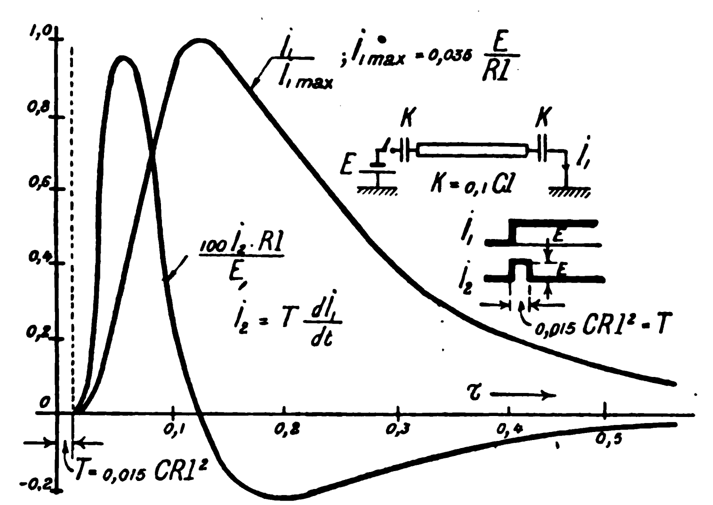


Fig. 8. — Allure de l'intensité du courant à l'extrémité réceptrice d'un câble avec condensateurs.
I_1 = intensité dans le cas d'une transmission suivie ;
I_2 = intensité dans le cas d'une seule impulsion.

extrêmement sensible. Jusqu'ici, on s'est servi partout de l'enregistreur à siphon imaginé par W. Thomson et qui fonctionne d'après le principe du galvanomètre à cadre mobile.

Pour montrer la vitesse à laquelle les impulsions doivent se suivre pour que les signaux télégraphiques soient lisibles, on a représenté sur la figure 9 la lettre *f* (..—.) pour les durées suivantes d'émission d'un signal :

$$\frac{S}{CRl^2} = 0{,}0351 \text{ (fig. 9}a\text{)} ;\ 0{,}0281 \text{ (fig. 9}b\text{)} ;\ 0{,}0234 \text{ (fig. 9}c\text{)}.$$

Sur la figure 9 *a*, la lettre *f* est très bonne ; sur la figure 9 *b*, elle est encore lisible ; mais sur la figure 9 *c*, les diverses impulsions se superposent presque, de telle sorte qu'il serait impossible de lire la suite si la lettre se répétait dans le mot.

A titre de comparaison avec ces courbes théoriques, et pour bien montrer ce qui se passe dans la pratique, on a représenté sur la figure 10 la lettre *f* reçue dans différents cas, lors d'essais effectués sur l'ancien câble allemand Emden-Horta

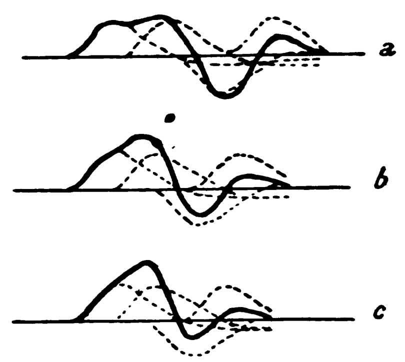


Fig. 9. — Réception de la lettre *f* à l'enregistreur à siphon, pour des durées d'émission différentes.

(Açores) I. Pour ce câble, on avait $CRl^2 = 4,27$, et la vitesse de réception correspondait aux différentes durées de signaux indiquées plus haut. A ces durées, correspondent, d'après la formule (3), les vitesses de transmission suivantes :

$$n = \frac{455}{CRl^2}; \quad \frac{570}{CRl^2}; \quad \frac{680}{CRl^2}.$$

D'accord avec l'expérience, on peut exprimer comme il suit la vitesse de transmission sur un long câble desservi à l'enregistreur à siphon :

$$n = \frac{550}{CRl^2}. \qquad (8)$$

Pour le câble transocéanique ayant une constante de temps égale à $4^s,43$, on obtient une vitesse $n = 124$ signaux télégraphiques par minute, c'est-à-dire plus de 5 fois la vitesse obtenue sur un câble sans condensateur de blocage ou sans self-induction terminale. Ces deux procédés sont passablement démodés aujourd'hui. Malgré qu'ils se soient de prime abord révélés comme très efficaces, on s'est évertué de trouver des dispositifs d'extrémité permettant de rendre encore plus raide la courbe d'intensité du courant, et partant d'augmenter encore la

vitesse de réception. Tout d'abord, les tentatives faites dans ce sens n'aboutirent à aucun résultat vraiment pratique, car une plus grande raideur de la courbe de l'intensité ne pouvait s'obtenir qu'au détriment de l'amplitude, et l'on ne disposait d'aucun amplificateur capable de remédier à ce nouvel inconvénient.

7. Amplificateur de réception. — On peut s'assurer que c'est bien une question d'amplification d'après les services rendus par certains appareils qui sont un peu plus sensibles que l'enregistreur à siphon, par exemple : l'amplificateur à fil thermique de E. S. Heurtley et l'amplificateur à résistance en

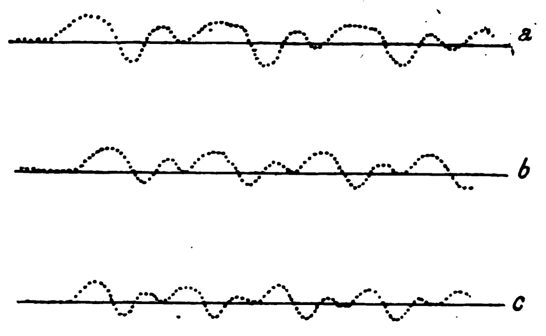


Fig. 10. — Transmission de la lettre *f* sur le câble Emden — Açores; mêmes durées d'émission des signaux que pour la figure 9.

sélénium de Dixon, Cox et autres. De même que l'enregistreur à siphon, ces appareils reposent sur le principe du galvanomètre à cadre mobile. Mais, tandis que la bobine mobile de l'enregistreur à siphon actionne directement le siphon proprement dit, celle de l'appareil Heurtley fait varier, par rapport à une lame d'air, la position d'un fil thermique très fin ; la bobine mobile de l'appareil au sélénium porte un petit miroir, qui renvoie sur une résistance en sélénium une partie plus ou moins large d'un faisceau lumineux. Suivant le cas, le fil thermique ou la résistance en sélénium constitue une branche d'un pont de Wheatstone ; leurs variations de résistance influent sur les déviations de l'appareil de zéro, lequel actionne mécaniquement le dispositif imprimeur.

Pour reproduire les signaux de façon lisible, l'enregistreur à siphon exige un courant de 30 microampères au minimum; pour l'appareil Heurtley et l'amplificateur à résistance au sélénium, l'intensité minimum doit être de 5 microampères environ. L'augmentation de sensibilité ainsi réalisée n'est pas suffisante pour permettre de passer à des dispositifs de réception véritablement nouveaux et sensiblement meilleurs; cepen-

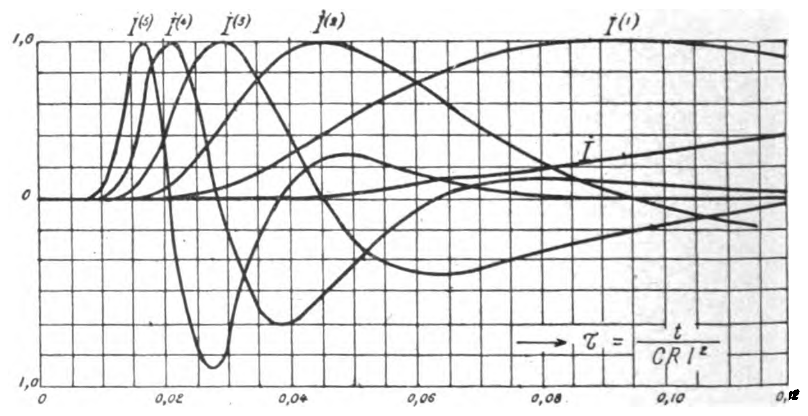


Fig. 11. — Courbe de Thomson, avec ses dérivées jusqu'au 5e ordre.

dant, elle a permis de choisir ceux des dispositifs connus qui sont les mieux appropriés et, par suite, d'atteindre une vitesse

$$n = \frac{800}{\mathrm{CR}l^2}. \qquad (9)$$

La formule (9) est caractéristique de l'état de la télégraphie sur câble à la déclaration de guerre (1914).

8. Dérivées d'ordre plus élevé des courbes d'intensité et de tension à l'extrémité réceptrice d'un câble. — Les perfectionnements apportés aux amplificateurs à lampes ont préparé la voie aux progrès importants réalisés dans le domaine de la télégraphie sous-marine. Les premiers essais avec amplificateurs à lampes furent effectués par A. Kunert [1], pendant la guerre. Depuis la fin de l'année 1918, ils ont été repris sur une grande échelle par le section d'étude des Services techniques de l'ad-

(1) *Telegr. u. Fernsprechtechnik* : 1909, p. 89.

ministration allemande des télégraphes. Ces expériences découlent d'une idée émise antérieurement [1], à savoir : améliorer la courbe de l'intensité du courant reçu à l'extrémité du câble, grâce à l'emploi des courbes dérivées d'ordre élevé de la courbe de Thomson ou de la courbe de tension à l'extrémité ouverte.

La figure 11 représente la courbe de Thomson, et ses dérivées jusqu'au 5e ordre; la figure 12 représente la même courbe se rapportant à la tension U à l'extrémité ouverte; toutes

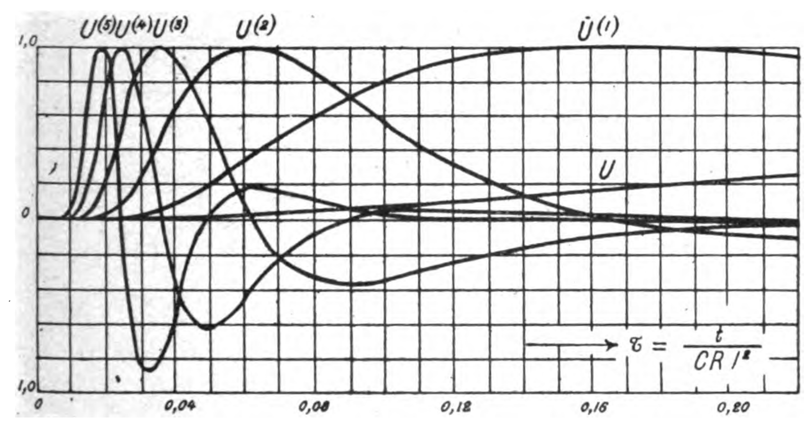


Fig. 12. — Tension à l'extrémité isolée; dérivées jusqu'au 5e ordre.

les courbes sont calculées d'après les mêmes maxima, déduits du premier maximum. Lesdits maxima sont portés au tableau suivant; la valeur finale de $I = E/Rl$ ou de $U = E$ est prise comme unité; Θ est une abréviation pour CRl^2 (constante de temps).

Premier maximum	Courbe de Thomson (I)	Tension U à l'extrémité ouverte
de la première dérivée..	$5,9/\Theta$	$1,85/\Theta$
de la seconde » ...	$152/\Theta^2$	$26,4/\Theta^2$
de la troisième » ...	$8,7 \times 10^3/\Theta^3$	$1,06 \times 10^3/\Theta^3$
de la quatrième » ...	$8,8 \times 10^5/\Theta^4$	$8,28 \times 10^4/\Theta^4$
de la cinquième » ...	$1,39 \times 10^8/\Theta^5$	$1,06 \times 10^7/\Theta^5$

(1) K.-W. Wagner : *Phys. Zeitschrift* : 1909.

9. Montages de réception donnant les dérivées de divers ordres. — La fig. 13 représente divers dispositifs de réception, donnant à l'intensité du courant reçu la forme d'une des dérivées successives de la courbe de Thomson. Une impulsion de courant, de courte durée, envoyée sur le câble, produit, dans l'appareil de réception A équipé comme l'indique la figure 13 (a_1, a_2), un courant ayant une intensité dont la forme

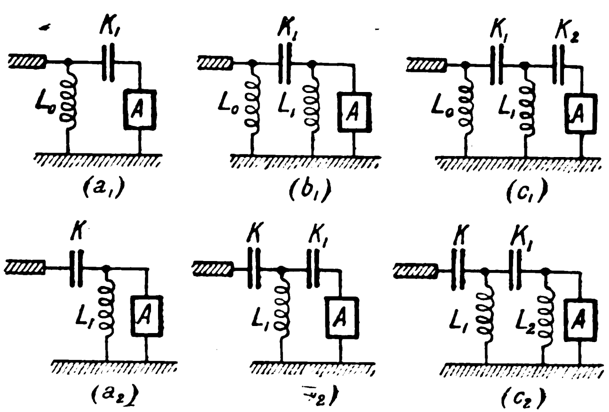


Fig. 13. — Dispositifs extrêmes dont le rôle est de réaliser des courbes dérivées de la courbe de Thomson d'un ordre plus élevé.

est presque semblable à la dérivée troisième de la courbe de Thomson ; les dispositifs représentés en b_1 et b_2 (fig. 13) donnent un courant ayant une intensité semblable à la dérivée quatrième ; et les dispositifs c_1 et c_2 (fig. 13) un courant ayant une intensité semblable à la dérivée cinquième. Pour proportionner ces dispositifs, on tient compte des règles suivantes :

1) Dans le cas des montages a_2, b_2, c_2 (fig. 13), il faut employer des condensateurs de blocage K à l'extrémité transmettrice du câble ;

2) Il faut que les impédances des condensateurs K, K_1, et K_2 soient grandes par rapport à celles des self-inductions L_0, L_1, L_2 ;

3) L'appareil récepteur A doit avoir une résistance d'entrée aussi faible que possible s'il est monté en série avec un condensateur K ; il doit au contraire posséder une résistance d'entrée

aussi grande que possible s'il est monté en parallèle avec une self-induction.

Dans ces conditions, l'impulsion, qui, avec la disposition a_1 par exemple, parcourt L_0, possède l'allure de la première dérivée de la courbe de Thomson $I^{(1)}$; elle engendre dans L_0 une tension égale à $-L_0 I^{(2)}$; cette tension donne naissance à un courant d'intensité $-K_1 L_0 I^{(3)}$, qui circule dans K_1 et A, parce que l'impédance du shunt K_1A dépend principalement de K_1. On peut expliquer de la même manière les résultats obtenus avec les autres montages. On voit également, sans plus, com-

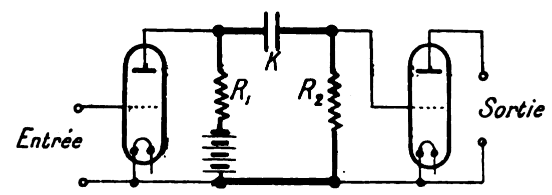


Fig. 14. — Amplificateurs à lampes pour câbles télégraphiques.

ment il faudrait s'y prendre pour engendrer des intensités ayant la forme des dérivées d'un ordre encore plus élevé. Tous ces dispositifs rentrent dans la catégorie des filtres du type « passe-haut » [1].

10. Amplificateurs à lampes comme opérateurs de différenciation. — L'amplificateur à lampes réalise la différenciation d'une autre manière ; on utilise à cette fin le dispositif de la figure 14 comprenant un amplificateur sans distorsion, c'est-à-dire un amplificateur dont le coefficient d'amplification reste pratiquement constant pour une gamme étendue de fréquences. Le dispositif représenté sur la figure 14 est sans distorsion pour toutes les fréquences dont la périodicité est petite par rapport à la constante de temps $K(R_1+R_2)$ du circuit d'accouplement placé entre les deux amplificateurs. En examinant les choses de près, on voit que, sur un long câble, les courants d'arrivée seront amplifiés sans distorsion si

$$0{,}2CRl^2 \leqslant K(R_1+R_2) \qquad (10)$$

(1) K.-W. Wagner : *Archiv für Elektrot.* : 1915, p. 315, et 1919, p. 61.

On peut transformer facilement ce dispositif bien connu de manière qu'il n'amplifie plus sans les déformer les courants d'arrivée, mais qu'il différencie les signaux tout en les amplifiant. Il suffit de diminuer la capacité du condensateur K suffisamment pour que l'on ait :

$$0,002\,CRl^2 \geqq K(R_1 + R_2). \qquad (11)$$

Les résistances R_1 et R_2 doivent être adaptées aux résistances intérieures des lampes. Lorsqu'on utilise les tubes « R » de la maison Siemens et Halske, il est avantageux de donner à R_1 la valeur 10.000 ohms et à R_2 la valeur 200.000 ohms.

Pour $CRl^2 = 4,43$, on a :

a) pour l'amplification sans distorsion (d'après la formule 10) :

$$K \geqq 4^{\mu F} \text{ en chiffre rond,}$$

b) pour la différenciation avec amplification (d'après la formule 11) :

$$K \leqslant 0^{\mu F},04 \text{ en chiffre rond,}$$

résultats conformes à ceux qu'on obtient expérimentalement.

Si l'on augmente le nombre des étages d'amplification sur la figure 14, on obtient des différenciations d'un ordre plus élevé (dérivées d'ordre supérieur de la courbe de Thomson).

11. Formation des courbes de l'intensité du courant d'arrivée, par combinaison des dérivées d'ordres différents. — Pour former les signaux au moyen des dérivées d'un ordre élevé, on est gêné par les maxima de sens opposé qui suivent le premier maximum positif; mais on peut les compenser en leur superposant des dérivées d'un ordre moins élevé. On peut obtenir ainsi des courbes très raides (1). En traçant la courbe de l'intensité du courant d'arrivée d'après la loi

$$a\,I_0 + a_1\,I^{(1)} + a_2\,I^{(2)} + a_3\,I^{(3)} + \ldots + a_n\,I^{(n)},$$

on se rapproche d'autant plus du moment où la courbe de ten-

(1) Voy., par exemple, le brevet allemand n° 388.235 délivré à K.-W. Wagner et K. Küpfmüller; le brevet américain n° 1.315.539 délivré à J. R. Carson ; le brevet américain n° 1.311.283 délivré à R. C. Mathes.

sion forme un angle droit, que l'on considère un plus grand nombre de termes. La figure 15, par exemple, représente la courbe de l'intensité du courant d'arrivée tracée en appliquant la formule

$$I_t = I_0 + 0{,}14\, I^{(1)} + 4{,}5 \,.\, 10^{-3}\, I^{(2)} + 4{,}5 \,.\, 10^{-5}\, I^{(3)} + 1{,}4 \,.\, 10^{-7}\, I^{(4)};$$

à titre de comparaison, on a représenté également la courbe de Thomson.

Pour réaliser une combinaison judicieuse de la courbe de

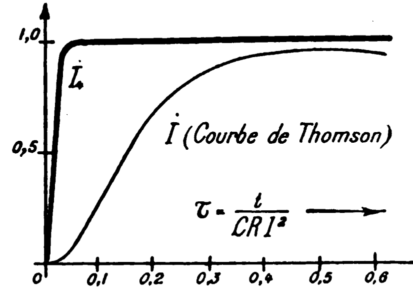


Fig. 15. — La courbe I_t représente l'allure de l'intensité du courant d'arrivée, sensiblement améliorée grâce à une combinaison des dérivées d'un ordre élevé (jusqu'au 4e ordre).

Thomson avec ses dérivées, on emploie des *filtres électriques* dont les cellules sont composées comme l'indiquent les figures 16 *a* et 16 *b*. Il faut alors que

$$R_n >> r_n, r_{n+1}.$$

Dans cette hypothèse, on a, dans le cas de la figure 16 *a* :

$$U_{n+1} = \frac{r_{n+1}}{R_n}\left(U_n + K_n R_n \frac{d U_n}{d t}\right),$$

et dans le cas de la figure 16 *b* :

$$I_{n+1} = \frac{r_n}{R_n}\left(I_n + \frac{L_n}{r_n}\frac{d I_n}{d t}\right).$$

Il est alors avantageux d'utiliser les différentes cellules pour relier entre eux les étages d'amplification, qui seront nécessairement en nombre égal aux cellules des filtres.

En recourant à des dispositifs de ce genre, nous avons obtenu d'excellents résultats, il y a déjà plusieurs années, en collaboration avec K. Küpfmüller. Ces travaux furent inter-

rompus par d'autres recherches faites à propos des câbles à inductance très élevée. Les résultats dont il vient d'être question montrent, en définitive, qu'avec les dispositifs terminaux décrits plus haut et les amplificateurs à lampes, il est possible

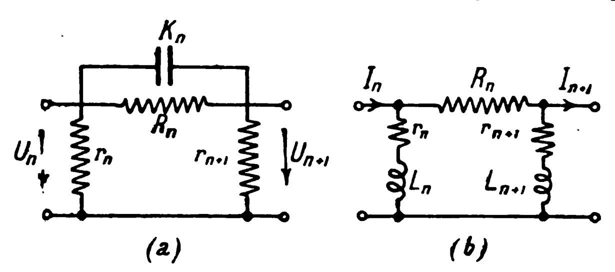


Fig. 16. — Cellules de filtres mixtes.

d'accroître dans de notables proportions la vitesse de transmission sur les câbles existants, par exemple de réaliser une vitesse au moins double de celle qu'on obtient par les procédés usuels.

12. Remplacement des amplificateurs mécaniques par des amplificateurs à lampes. — Les amplificateurs mécaniques moyennement sensibles employés jusqu'ici (l'appareil Heurtley,

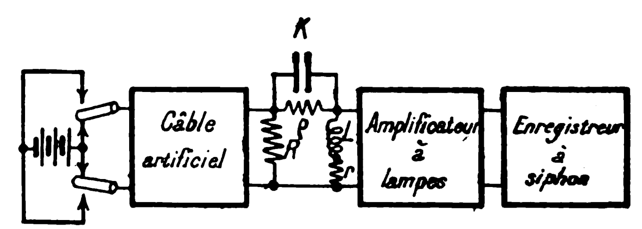


Fig. 17. — Dispositif assez simple où les amplificateurs mécaniques sont remplacés par des amplificateurs à lampes sans distorsion.

par exemple) peuvent être remplacés, sans complications excessives, par des amplificateurs à lampes. C'est ainsi qu'avec le dispositif représenté sur la figure 17 (sans condensateurs de blocage) on a pu atteindre une vitesse $n = \frac{1.000}{CRl^2}$. Le câble artificiel était formé de 300 cellules. Sa constante de temps égalait 3,6 ($CRl^2 = 3,6$) et sa longueur électrique 25 (voy. plus loin). Les constantes du dispositif terminal étaient les suivantes :

$R = 1.000$ ohms, $L = 14$ henrys,
$\rho = 10.000$ ohms, $r = 75$ ohms,
$K = 26$ microfarads.

L'amplificateur était monté comme l'indique la figure 14; il était réglé pour ne produire aucune distorsion.

13. Limitation de la vitesse de transmission, du fait des courants telluriques. — Les perturbations dues aux *courants telluriques* sont un mal dont la télégraphie par câble souffrira tant qu'on utilisera la terre comme conducteur de retour. Si ces courants sont imputables à d'autres circuits électriques, il est facile d'y remédier en choisissant le point de prise de terre assez avant dans la mer et en rendant bifilaire le circuit entre le point de prise de terre et le lieu d'atterrissage; mais il reste encore les courants telluriques proprement dits, qu'il faut attribuer à des causes naturelles. Pour que ces derniers ne brouillent pas les signaux télégraphiques, notamment lorsqu'on utilise des amplificateurs, il faut qu'à l'arrivée l'impulsion de courant utile soit grande par rapport à l'intensité habituelle des courants perturbateurs. D'après l'expérience acquise en télégraphie sous-marine et d'après le résultat d'expériences faites sur les câbles sous-marins, cette condition se trouve réalisée si le courant atteint au moins 20 microampères avant l'arrivée de la deuxième impulsion, qui, suivant le cas, peut être de même signe que la première ou de signe contraire. Sur un câble transocéanique, dont la résistance est de 5.000 ohms, et pour une tension de service de 50 volts, 20 microampères représentent le produit de $\frac{E}{Rl}$ (intensité du courant d'arrivée) par 0,002; cette valeur est atteinte après un temps égal à $0,0310\ CRl^2$ (1). Mais il ne faut pas que l'intervalle de temps entre deux impulsions successives, c'est-à-dire la durée d'un signal, soit aussi long, parce que, pendant un

(1) Pour des laps de temps très courts, la courbe de Thomson peut être, à la rigueur, représentée par la formule

$$I = \frac{E}{Rl} \cdot \frac{2}{\sqrt{\pi\tau}} \cdot e^{-\frac{1}{4\tau}}.$$

certain temps après que l'émission du signal télégraphique a commencé, le courant est extrêmement faible, au point de n'être pas perceptible. La formation des caractères télégraphiques commence seulement lorsque le courant a atteint une fraction importante (par exemple de 5 à 10 °/₀) du niveau de la plus petite impulsion, c'est-à-dire qu'il vaut de 1 à 2×10^{-4} de sa valeur définitive. Si l'on retranche le temps écoulé (de 0,0222 à $0,0238 \times CRl^2$) de la valeur $0,0310\ CRl^2$, on obtient la durée minimum du signal S, comprise entre $7,2 \times 10^{-3}\ CRl^2$ et $8,8 \times 10^{-3}\ CRl^2$. Ainsi les perturbations causées par les courants telluriques imposent, à la vitesse de reproduction des signaux télégraphiques, une limite maximum qui, d'après la formule 3, serait (sur les câbles du type Thomson) comprise entre $\frac{1.800}{CRl^2}$ et $\frac{2.200}{CRl^2}$ en chiffres ronds. Il est impossible de reculer cette limite même en perfectionnant les dispositifs extrêmes et les appareils de réception. Si l'on veut aller plus loin encore, il faut rendre la pente de la courbe de l'intensité du courant d'arrivée encore plus raide que celle de la courbe de Thomson. C'est donc le câble lui-même qu'il faut améliorer. Nous allons maintenant traiter cette question.

(*A suivre.*)

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

Pourquoi les rayons électriques de télégraphie sans fil contournent la terre (Sir Joseph Larmor : *Philosophical Magazine* : décembre 1924). — La première annonce que des signaux électriques lancés à travers l'éther avaient été perçus avec succès, à aussi grande distance que d'Angleterre en Amérique, par les télégraphistes de la compagnie Marconi, a donné lieu immédiatement à une recherche de feu lord Rayleigh, pour examiner comment les rayons pouvaient faire pour contourner la rotondité de la Terre. En fait, dans un milieu homogène qui propage les ondes sans absorption ni dispersion, toutes les caractéristiques du phénomène restent semblables à elles-mêmes quand on change dans le même rapport les échelles d'espace et de temps. Ainsi les ondes de longueur λ, qui contournent la Terre de rayon a se comporteront comme des ondes de longueur $k\lambda$ autour d'une sphère plus petite de même constitution et de rayon ka. Pour ramener les ondes électriques d'une longueur de 10^4 centimètres à des ondes lumineuses de 10^{-4} centimètres de longueur, k devrait avoir la valeur 10^{-8}; donc le rayon de la sphère correspondant à la Terre devrait être : $10^{-8} . 10^9 \Big/ \frac{1}{2}\pi$, ou 6 centimètres; or l'expérience de tous les jours nous indique que la lumière visible ne pourrait guère dépasser sensiblement le dixième de la circonférence le long d'une sphère de ce rayon. L'explication quantitative de ce phénomène a entraîné, dans ces jours anciens, à des calculs difficiles et compliqués relatifs au problème de la diffraction des ondes par un obstacle, conducteur ou diélectrique, de courbure continue ; les recherches de lord Rayleigh, H. M. Macdonald, A. E. H. Love, J. W. Nicholson, G. N. Watson et autres savants, ont grandement étendu de ce côté le domaine de l'optique mathématique.

Mais, aujourd'hui que les signaux de radio-télégraphie sont nettement reçus aux antipodes, toute ombre d'incertitude concernant les faits eux-mêmes se trouve écartée. Les rayons ne sauraient cheminer qu'en ligne droite dans l'espace libre, au sein d'un milieu, tel que l'air ordinaire, où la vitesse de propagation est pratiquement uniforme ; ou bien ils doivent être guidés par quelque liaison avec la surface de la Terre, de même que les ondes cylindriques hertziennes restent centrées sur un fil conducteur qui les dirige, ou bien c'est que la vitesse de propagation doit, pour quelque autre cause, croître assez avec l'altitude pour les recourber vers le bas. De très anciennes observations de l'amiral Jackson (alors capitaine), faites avec l'assistance des croiseurs anglais, ont montré que le haut plateau de l'Espagne n'est pas un réel obstacle ; peut-être ce fait montrait-il déjà que la transmission des rayons se passe dans les hauteurs de l'atmosphère.

L'atmosphère supérieure ultra-raréfiée, où les libres parcours sont grands, doit être soumise à une forte ionisation par le fait de la radiation solaire incidente ultra-violette ; l'effet persiste après le jour, et l'on a généralement fait appel à une couche conductrice ionisée pour justifier l'accroissement nécessaire de vitesse des rayons. Mais la conduction électrique ordinaire a pour effet d'introduire dans les équations un terme correspondant à une dissipation d'énergie, cause de l'absorption ; or c'est un principe bien connu que, quand l'absorption est du premier ordre, la variation de vitesse correspondante est du second, de sorte que, si celle-ci devait être ce qu'elle est, les rayons seraient immédiatement amortis, au lieu d'être transmis d'une façon appréciable. On a en gros une image du phénomène, avec l'équation type de l'optique relative à la propagation avec résistance de milieu de coefficient κ :

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2} + \kappa \frac{\partial \varphi}{\partial t} = c^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}.$$

On y satisfait par l'expression :

$$\varphi = A e^{-imx} e^{int},$$

où l'on a :

$$n^2 - \kappa n \iota = m^2 c^2,$$

de sorte que, pour une période réelle, $2\pi/n$, on a :

$$mc = (n^2 - i\varkappa n)^{\frac{1}{2}} = n\left(1 - \frac{1}{2}\, i\, \frac{\varkappa}{n} + \frac{1}{8}\frac{\varkappa^2}{n^2} + \ldots\ldots\right).$$

Ainsi donc, en conservant la partie réelle, nous arrivons, pour un simple train d'ondes de période déterminée, à l'expression :

$$\varphi = Ae^{-\frac{1}{2}\frac{\varkappa}{c}x} \cos n\left\{t - \left(1 + \frac{1}{8}\frac{\varkappa^2}{n^2}\right)\frac{x}{c}\right\},$$

avec un coefficient d'extinction $\frac{1}{2}\,\varkappa/c$ et une vitesse de propagation $v = c\left(1 + \frac{1}{8}\frac{\varkappa^2}{n^2}\right)^{-1}$, ou $c\left(1 - \frac{1}{8}\frac{\varkappa^2}{n^2}\right)$ approximativement. Celle-ci, par conséquent, est plus petite que c ; seulement, elle est du second ordre en $\varkappa$.

(D'après le principe de courbure des rayons qui sera indiqué plus loin, un rayon de période déterminée ne se conformera à la courbure de la Terre que si l'on a :

$$\frac{1}{2}\pi\, 10^{-9} = \frac{d}{dh}\log v = -\frac{1}{8n^2}\frac{d}{dk}\varkappa^2.$$

L'absorption varierait en raison inverse de la longueur d'onde. Si la longueur d'onde est d'un kilomètre, on a :

$$\frac{2\pi}{n} = \frac{\lambda}{c} = \frac{1}{3}10^{-5},$$

de sorte que, si les rayons se conforment ainsi à la courbure de la Terre sur une hauteur verticale d'un millier de mètres seulement, le coefficient d'absorption $\frac{1}{2}\varkappa/c$ devra aller en croissant quand l'altitude diminue, et au bord inférieur il se monterait au moins à 10^{-6}, ce qui signifie une décroissance d'amplitude dans le rapport e^{-1} pour 10 kilomètres de parcours seulement.)

Pour produire une incurvation sensible des rayons sans extinction, toute action par conductivité ou autre cause de dissipation doit être exclue. Il ne suffirait pas de dire que la conductibilité doit devenir parfaite, car alors aucune onde ne se propagerait plus : l'influence doit être de nature diélectrique. Une théorie satisfaisant

à ce critérium a été élaborée dans les conférences de Cambridge sur les ondes électriques en février 1924, et elle a été, en fait, déjà exposée dans les réponses du *Mathematical Tripos* à peu près comme on se propose de la présenter ici. L'attention est maintenant attirée sur les transmissions électriques dans l'espace libre à longue portée : c'est le progrès pratique instantané le plus merveilleux depuis le téléphone ; cette étude peut donc retenir l'intérêt d'un plus grand auditoire.

Une cause suffisante de l'accroissement de vitesse sans perte d'énergie, pour des ondes à parcours horizontal, nous est fournie, effectivement, par les oscillations libres des ions dans les très hautes régions de l'atmosphère, si parcimonieusement qu'ils soient distribués. Il est vrai que, plus bas, leur énergie se dissipe par collision avec les atomes, et que les ondes, en se propageant, s'amortissent graduellement. Le courant passe, sans perte par frottement, dans le vide d'une valve électronique, sous la forme d'un jet d'électrons libres. D'autre part, dans la conduction métallique, les électrons ou les ions légers prennent très rapidement de la vitesse dans le champ électrique ; mais, au bout de chaque petit libre parcours, ils restituent une partie de l'énergie ainsi accumulée ; c'est l'effet de leur collision avec les atomes de métal qui sont sur leur chemin, et cette dissipation d'énergie est la mesure même de la résistance électrique. Pour les champs électriques alternatifs de fréquence égale à un dixième de celles de la lumière visible, ce processus de conduction, comme Rubens l'a montré, s'établit intégralement à chaque instant dans le métal, et le phénomène nous donne quelques renseignements sur les longueurs de libre parcours (cf. *Phil. Mag.*; août 1907). Mais, pour les ions qui parcourent les régions extrêmement raréfiées de l'atmosphère supérieure, le libre parcours sera grand, et il pourra y avoir, pendant la durée de parcours d'un ion, un grand nombre d'alternances de la force électrique dans le champ de radiation, même pour les radiations électriques de grande longueur d'ondes. Les ions en mouvement auront donc un mouvement d'oscillation libre sous l'influence des ondulations électriques, et ils interviendront ainsi sans que leur énergie se dissipe. Pour être en accord avec la présente explication, la variation de vitesse doit

être un véritable accroissement appréciable, en dépit du faible nombre d'ions qui y contribuent dans l'atmosphère ultra-raréfiée. Et la raison en est simple : l'influence d'un ion se mesure (conjointement avec la durée) par la valeur moyenne de la vitesse alternative qu'il prend, et celle-ci, pour une intensité de champ donnée, est proportionnelle à la période des ondes, de sorte que, pour les ondulations électriques de grande longueur, l'effet peut être des millions de fois plus grand que pour les ondes courtes d'énergie comparable ; en fait, cela implique la loi du carré de la longueur d'onde. Les ondes de plus courte longueur pourraient circuler dans une couche plus basse sans absorption excessive, l'augmentation du nombre des ions pouvant compenser la diminution d'amplitude de leur mouvement oscillatoire (1).

En passant, on peut noter que le même principe s'applique, en termes généraux, à la pénétration des rayons X de haute fréquence au sein des métaux, spécialement ceux de masse atomique peu élevée ; quand la durée d'un libre parcours est de plusieurs périodes de la radiation, l'absorption, qui doit être due principalement aux ions libres, doit beaucoup diminuer, et la radiation peut pénétrer jusqu'à une limite imposée principalement par la simple dispersion, c'est-à-dire proportionnelle à la densité des électrons atomiques : les expériences de Rubens donnent des indications semblables.

Pour des motifs très généraux, la transparence de l'air aux ondes

---

(1) La seule discussion théorique que l'auteur ait pu trouver est due à M. W. H. Eccles (*Proc. Roy. Soc.* : juin 1912, p. 86). *Une couche de Heaviside* est conçue, de limite assez tranchée, et assez conductrice pour réfléchir les rayons sans pénétration à son intérieur ; elle est combinée avec l'ionisation de l'atmosphère à hauteur moyenne pour incurver les rayons, mais, « en formant les équations, on a implicitement admis que les ions sont assez lourds pour n'acquérir qu'une faible vitesse et qu'ils font de minimes excursions sous l'action des ondes. » Un terme de viscosité s'introduit dans l'équation du mouvement d'un ion ; si ce terme s'annule, les formules sont en bon accord avec celles que l'on adopte ici pour les ions légers de très grand libre parcours. L'auteur s'occupe surtout des rayons, et il fait une discussion complète de l'ensemble des observations acquises à cette époque sur le sujet, en particulier en ce qui concerne les parasites.

La théorie de la diffraction de G. N. Watson (*Proc. Roy. Soc.*, 1918, résultat d'une étude plus récente) semble rendre invraisemblable que le sol puisse avoir une part quelconque à la transmission effective.



électriques de grande longueur est vraisemblablement grande, comparée à celle de la lumière; en raison de la lenteur de la période moléculaire, la dispersion est pratiquement inexistante, et l'effet de mirage dû aux irrégularités locales est négligeable, tant que leur étendue n'est pas comparable à la longueur d'onde.

Une remarque se présente d'elle-même : c'est de comparer, d'une part, les oscillations libres finies des électrons ou des ions légers dans le gaz ultra-raréfié de l'atmosphère supérieure, oscillations qui augmentent la vitesse des ondes excitatrices, et, d'autre part, les oscillations finies qui ont lieu sous les alternances de l'attraction de la grille dans le flux d'électrons qui traverse la valve à trois électrodes ; ce sont les électrons captés ainsi partiellement d'une façon systématique par la grille qui produisent l'effet de relais.

Par conséquent, il doit y avoir au-dessus de l'atmosphère sensible, dans le domaine des aurores boréales, une couche où un faisceau de rayons électriques horizontaux circulera, pourvu qu'ils aient une longueur d'onde assez grande, sans perte par absorption ni dispersion, la concentration dans ce stratum étant due à l'influence énergique exercée, sur la vitesse des ondulations de grande longueur, par les ions libres de faible inertie qui réagissent sur elle. Mais nous devons supposer que l'énergie qui se transmet dans cette couche élevée se déverse à un degré appréciable tout le long de sa trajectoire pour que les signaux puissent être reçus partout. Si nous faisons appel à une image optique, nous pouvons considérer que, parmi les gerbes de rayons, il y a des filets composants spéciaux qui relient le transmetteur à chaque récepteur situé le long du trajet du faisceau. Ces rayons se réunissent à grande hauteur en une sorte de caustique, et, tant qu'ils conservent de l'énergie, ils continuent leur propagation sans autre affaiblissement que cette perte latérale.

La question se pose de savoir s'il peut exister assez d'énergie pour se déverser sur les récepteurs le long de toute la surface de la Terre. Mais c'est un principe connu, qu'un récepteur recueille l'énergie dans un domaine de l'ordre de λ^2 ; par conséquent, l'énergie totale introduite dans la couche de transmission se trouve

réduite, après du récepteur, dans le rapport $\frac{\lambda^2}{4\pi a^2}$, de sorte que, pour une longueur d'onde d'un kilomètre, l'amplitude de la vibration est réduite à l'ordre de grandeur de 10^{-4}, ce qui n'est pas excessif.

Propagation des ondes électriques de grande longueur dans les gaz ionisés très raréfiés. — On remarquera tout d'abord que l'aurore boréale, qui est due, d'une façon ou de l'autre, à des ions libres, se déploie à une hauteur de l'ordre de 50 miles ; c'est dix fois la hauteur de l'atmosphère homogène ; aussi, en mettant de côté les effets de plus petit ordre provenant des changements de température, le libre parcours moyen des atomes serait, à cette hauteur, e^{10} fois ce qu'il est à la surface de la terre, c'est-à-dire qu'il serait de l'ordre de quelques centimètres. Le nombre de molécules par centimètre cube serait $3.10^{19}.\, e^{-10}$, soit 10^{15}.

Considérons le mouvement d'un ion de charge e et de masse m avec une oscillation libre qui se superpose au mouvement de translation en raison du champ électrique alternatif de rayonnement agissant au passage sur l'ion, champ exprimé par la force électrique locale :

$$F = A \cos pt, \qquad \frac{2\pi}{p} = \frac{\lambda}{c}.$$

Pour l'oscillation ainsi superposée, on a, toutes les quantités étant mesurées en unités électro-dynamiques :

$$m\frac{d^2x}{dt^2} = eA\cos pt, \qquad \frac{m dx}{dt} = ep^{-1} A \sin pt,$$

de sorte que l'amplitude est $ep^{-2}\frac{A}{m}$. Il y a disons N_0 ions semblables effectifs par unité de volume, chacun fournissant sa contribution de $e\frac{dx}{dt}$ au flux électrique ; tous les ions positifs ou négatifs contribuent dans le même sens, mais ceux qui ont de grosses masses peuvent être négligés. Il se produit ainsi un courant électrique de densité C, exprimée, en fonction du champ F, par :

$$C = -N_0 \frac{e^2}{mp^2}\frac{dF}{dt}.$$

Ce courant vient s'ajouter, dans les équations électro-dynamiques du train d'ondes excitateur, au courant de déplacement diélectrique ordinaire de Maxwell, de densité $\frac{K}{4\pi c^2} \frac{dF}{dt}$, où K est la constante diélectrique statique du milieu, soit pratiquement l'unité pour l'air ordinaire. Il ressort de là, par addition, que le K résultant est réduit à :

$$K' = K - N_0 \frac{4\pi c^2 e^2}{mp^2}.$$

Si c' est la vitesse de propagation, c'^{-2} passe de la valeur $\frac{K}{c^2}$, ou disons c^{-2} en l'absence d'ionisation, à la valeur $\frac{K'}{c^2}$, de sorte qu'on a :

$$c'^{-2} = c^{-2}\left(1 - N_0 \frac{e^2\lambda^2}{\pi m}\right).$$

Cet accroissement de vitesse de c à c', en provenance des ions libres, augmente avec λ ; il doit donc être sensible pour les ondulations électriques de grande longueur, en dépit de l'extrême raréfaction des ions gazeux. D'ordinaire, cet accroissement n'entre pas en ligne de compte, si ce n'est dans les métaux, pour la lumière de courte longueur d'onde.

En gros, la charge ionique e est de l'ondre de $\frac{3}{2}\, 10^{-20}$ unités électro-magnétiques ; en prenant une longueur d'onde d'un kilomètre, λ a pour valeur 10^5 ; et, si les ions agissant sont des électrons, $\frac{e}{m}$ a pour valeur $\frac{7}{4} \cdot 10^7$; le coefficient de c^{-2} devient ainsi $1 - 10^{-3}\, N_0$.

Ce qui nous intéresse, c'est que les rayons aient une incurvation exactement conforme à celle de la Terre. L'indice de réfraction est :

$$\mu = \frac{c}{c'} = 1 - N_0 \frac{e^2\lambda^2}{2\pi m},$$

ou disons ici : $1 - \frac{1}{2}\, 10^{-3}\, N_0$.

Ainsi la courbure des rayons, qui est $-\frac{d\mu}{dh}$ (voy. ci-dessous

ou $\frac{1}{2} 10^{-3} \frac{d N_0}{d h}$, ne doit pas tomber loin de $\frac{1}{2} \pi 10^{-9}$. Avec les données adoptées ici, cette condition pour la courbure exige que $\frac{d N_0}{d h}$ soit d'environ 3.10^{-6}, valeur qui doit rester valable sur toute la section efficace, où h peut varier, disons de 10^5 centimètres; et l'on trouve, pour la valeur extrême de N_0, seulement environ 0,3 électrons ou 5.10^2 ions d'hydrogène par centimètre cube, tandis qu'à l'altitude de 50 miles, il y a encore 10^{15} molécules de gaz par centimètre cube.

Incurvation des rayons lumineux. — Les plans des fronts d'ondes sont normaux aux rayons, et deux fronts consécutifs se rencontrent au centre de courbure : donc, considérant comme d'ordinaire deux rayons adjacents d'un faisceau à la distance δn, comme la durée de passage d'un front à l'autre est la même pour les deux et que l'élément de trajectoire est $v \delta t$, nous avons :

$$\frac{\delta v}{v} = \frac{\delta n}{R},$$

de sorte que la courbure R^{-1} du rayon est $\frac{d \log v}{d n}$, ou ici simplement $-\frac{d \mu}{d n}$. La réfraction atmosphérique ordinaire sous l'action des molécules, conformément à cette formule, en tant qu'elle est applicable aux rayons lumineux ou électriques horizontaux, serait négligeable aux altitudes en cause ici, qui sont de l'ordre de 50 miles ; mais au niveau de la mer, là où la réfraction est due principalement au gradient de température, elle donnerait une contribution appréciable, quoique insuffisante à elle seule, pour le total de courbure requis, car l'indice de réfraction de l'air, pour la lumière ordinaire et aussi pour les ondes de grande longueur, est, au niveau de la mer, de 1,0003; et la courbure d'un rayon horizontal est $-\frac{d \mu}{d h}$, ce qui, comme $\mu - 1$ est proportionnel à la densité ρ, donne $-3.10^{-4} \frac{1}{p} \frac{d p}{d}$, s'il n'y a pas de gradient de température, ou $3.10^{-4} \frac{g \rho}{p}$; la vitesse du son est $\left(1,4 \frac{p}{\rho}\right)^{1/2} = 32.400$ centimètres

à la seconde à 0° centigrade, ce qui donne :

$$\frac{p}{\rho} = \frac{2}{3}\left(\frac{13}{4}\right)^2 10^8 ;$$

de sorte que $-\frac{d\mu}{dh}$ devient $3.10^{-4} \Big/ \frac{2}{3} 10^9 . 10^{-3}$ ou 5.10^{-10}, ce qui, comme le rayon de la Terre est de $\frac{2}{\pi} 10^9$, se monte au quart de la courbure de la Terre. Mais en fait le gradient de température $\frac{d\theta}{dh}$ affecte le résultat par le facteur $1 + 30 \frac{d\theta}{dh}$ si h est mesuré en mètres, et il est la principale cause des effets de mirage : par exemple, la courbure du rayon se conformerait à celle de la Terre si la température s'accroissait d'un degré centigrade par 9 mètres d'altitude (cf. l'exposition, par Everett, de la théorie de James Thomson : *Phil. Mag.* : mars 1873, p. 169 ; ou Rayleigh, *Théorie du son* : II, § 288). Ces variations, avec la température, de l'indice ordinaire de réfraction dans la basse atmosphère affecteraient semblablement les ondes électriques de grande longueur, sans la limitation antagoniste due à ce que des irrégularités n'occupant qu'une faible partie de la longueur d'onde n'entrent pas en ligne de compte, et que, d'autre part, à l'altitude de 15 kilomètres, la densité de l'air étant réduite au septième, l'effet est, de toute façon, très minime. Comme on l'a déjà remarqué, le stratum en jeu est trop haut pour que les instabilités météorologiques l'affectent. Mais, naturellement, ce stratum ne sera pas exactement horizontal : on peut s'attendre à ce que son altitude soit une certaine fonction du temps solaire local.

Amplitude des oscillations des ions libres. — Nous avons encore à vérifier que l'amplitude et la durée de l'oscillation d'un ion ne seront pas trop grandes si on les compare au libre parcours, et qu'elles donneront le champ libre à ces vibrations. La valeur de l'amplitude est :

$$\frac{e}{mp^2} A,$$

$$\text{ou } \frac{e\lambda^2}{4\pi^2 mc^2} A,$$

où A est l'amplitude vibratoire de la force électrique de l'onde. Si le champ de force est de V volts par centimètre, (valeur comparable aux 10 volts par centimètre du champ dans la lumière du soleil si celle-ci était une radiation cohérente organisée [1]), de sorte que l'on ait $A = 10^8 V$, l'amplitude pour un électron, avec une longueur d'onde de 10^5 centimètres ou un kilomètre comme ci-dessus, est d'environ $\frac{1}{2} 10^3$ V. Elle croît comme le carré de la longueur d'onde. Pour un ion hydrogène, elle serait 1.700 fois plus petite. V est réellement si petit que, même pour un électron, cette valeur s'accorde amplement avec le libre parcours gazeux à l'altitude de 50 miles, où il est de plusieurs centimètres comme on l'a vu ci-dessus. Mais il faut ménager assez de temps et d'espace pour le jeu réclamé par cette oscillation forcée régulière des ions. La période d'une longueur d'onde d'un kilomètre est $\frac{1}{3} 10^{-5}$ seconde : la durée du libre parcours moléculaire de 3 centimètres serait d'un ordre de grandeur égal à un peu plus de 2 centimètres divisés par la vitesse du son dans le gaz, qui est, disons vingt fois plus grande. Mais ceci est pour l'air ; pour un ion hydrogène, la durée devrait être divisée au moins par 5 ; et, pour un électron en équilibre thermique, peut-être par 200, à moins que le parcours ne soit prolongé par le passage à travers les atomes sans que le mouvement en soit beaucoup perturbé. C'est donc seulement dans l'atmosphère supérieure ultra-raréfiée que les longues oscillations des ions maté-

(1) Maxwell (*Traité*: § 793) semble avoir calculé inexactement le résultat. La radiation solaire est de 2 calories à la minute. Une calorie valant 4,18. 10^7 ergs, pour cette intensité, si la radiation était uniforme, l'amplitude de son champ électrique se monterait à 10 volts et celle de son champ magnétique à 0,034 ou 1/5 de la composante moyenne horizontale en Grande-Bretagne. La pression de la radiation solaire est de 500 grammes-poids par kilomètre carré. Mais la radiation solaire naturelle diffère des radiations artificielles, ici en discussion (lesquelles ne peuvent guère se présenter dans la nature), en ce qu'elle est une agrégation statistique provenant de sources moléculaires et non une ondulation cohérente organisée ; pour elle, l'énergie est la donnée fondamentale qui subsiste, et, au lieu d'une amplitude bien définie d'oscillations, on a des écarts à partir d'un état moyen permanent de trouble, mesurés par un carré moyen statistique ; la théorie serait alors d'une forme entièrement différente : ce serait celle de la radiation naturelle.

riels sous l'influence des ondes électriques de grande longueur auront assez de temps et d'espace pour effectuer un grand nombre d'oscillations complètes pendant un seul libre parcours ; et là, la loi d'Ohm serait tout à fait inapplicable

S'il y a N_0 ions par centimètre cube, valant chacun M fois la masse d'un électron, et si la durée d'un libre parcours est n fois la période des ondes d'amplitude électrique F_0, alors en une seconde une quantité d'énergie $\frac{F_0^2}{8\pi c^2} c$ traverse une section d'un centimètre carré, tandis que, par centimètre cube, une quantité d'énergie $\frac{N_0}{n} \frac{e^2 \lambda^2}{8\pi^2 mc^2} F_0^2 \Big/ \frac{\lambda}{c}$ se trouve dissipée par seconde : en divisant, le coefficient d'absorption par centimètre ressort à :

$$\frac{N_0}{n} \frac{\lambda}{M} 10^{-13}.$$

Dans les conditions admises ci-dessus à titre d'exemple, n peut être égal à 10, N_0 à 2.10^3 ions d'hydrogène, M est égal à 1.740, la longueur d'onde λ est de 10^5 centimètres, de sorte que la radiation plane serait réduite, par l'absorption ionique agissant seule, dans le rapport e^{-1} sur un parcours de 10.000 kilomètres. Ce résultat est comparable avec l'estimation donnée plus haut au sujet de l'effet de conductibilité.

Nous sommes donc porté à conclure que l'existence d'une vitesse de propagation croissant avec l'altitude, pour expliquer l'incurvation vers le bas des rayons sans absorption inacceptable, est une idée viable et raisonnable, en ce qui concerne les ondes électriques des longueurs employées habituellement, pourvu qu'il n'y ait dans l'air supérieur qu'une très faible proportion de molécules qui soient ionisées, de façon à procurer, sous l'action intense de la radiation solaire ultra-violette, les électrons ou les ions légers nécessaires. A la traversée de la région du levant, les couches ionisées peuvent être assez déformées par endroits pour relancer les rayons qui étaient concentrés en un faisceau horizontal, vers l'espace supérieur, ou, inversement, vers la Terre, à tel point qu'ils ne puissent retrouver la direction horizontale dans le nouveau stratum effectif. Mais, si ce stratum a une épaisseur, disons d'un kilomètre, cette

dislocation n'a pas besoin d'être complète. Ces considérations conservent leur validité générale quand les stratifications d'égale ionisation ne sont pas exactement horizontales.

Ces considérations semblent nous inviter à un examen critique des statistiques concernant la relation de la portée avec la longueur d'onde, ainsi que la qualité bonne ou mauvaise ou simplement irrégulière de la réception au lever et au coucher du soleil. (Il semble [1] que, dans les transmissions transatlantiques, la sensibilité de réception atteigne un maximum élevé quand le récepteur ou le transmetteur sont l'un ou l'autre à l'aube ou au crépuscule, et l'on trouve d'autres particularités significatives.) Il est très significatif que les atmosphériques soient relevés comme prédominants au lever et au coucher du soleil. Il apparaît aussi (cf. E. V. Appleton, Roy. Inst. Lecture, dans *Engineering* : mai 30, p. 709) qu'il y a la nuit accroissement d'intensité, mais avec diminution de netteté de repérage, — qu'à tous égards, la direction nord-sud vaut mieux que la direction est-ouest, — que dans l'Atlantique l'hiver est favorable, — et qu'au dessus des mers la transmission est plus aisée qu'au dessus des continents.

Incidemment, ces considérations nous amènent à faire une évaluation précise du moment diélectrique induit dans une molécule soumise à un champ intense. Pour l'air, dans les conditions normales de densité, l'indice de réfraction est de l'ordre de $1 + 3.10^{-4}$; ainsi la polarisation induite $\frac{K-1}{4\pi} F$ en mesure électrostatique est égale à $\frac{1}{2} 10^{-4} F$ et elle se répartit sur $\frac{3}{2} 10^{19}$ molécules. Si F est $\frac{1}{5} 10^{5}$ volts par centimètre (valeur correspondant à une étincelle de 5 centimètres), ce qui fait 60 unités électrostatiques, on obtient un moment de 2.10^{-22} par molécule. Comme e vaut 5.10^{-10} unités électrostatiques, le bras de levier du moment serait de 4.10^{-13} centimètres, alors que le rayon moléculaire est de l'ordre de 10^{-8}. Ainsi K ne saurait guère s'écarter de sa valeur

(1) **Eccles.**, *loc. cit.*, p. 97.

constante, avant que le champ n'approchât de 10^6 unités électrostatiques ; mais alors il y a longtemps que la décharge disruptive aurait eu lieu.

Propagation ondulatoire d'un faisceau de rayons. — Admettons donc que l'émission, à grande distance, d'un rayon électrique affecte la forme d'un faisceau, dont l'épaisseur, en ce qui concerne les rayons de grande longueur d'onde, peut n'être qu'une petite fraction de cette longueur ; les rayons cheminent le long d'une surface d'indice constant, en y restant concentrés sans s'éparpiller ni par réfraction ni par diffraction. Le sujet mérite d'être examiné au point de vue dynamique. L'équation de propagation, en négligeant d'abord la courbure de la couche autour de la Terre, est de la forme :

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = c'^{-2} \mu^2 \frac{\partial^2 \varphi}{\partial t}, \qquad \mu^2 = 1 + \psi(z),$$

où c' est la vitesse pour tous les points situés dans la partie médiane de la section droite, là où $\psi(z)$ s'annule. L'expression analytique des ondes ici envisagées, avec leur amplitude variable suivant $f(z)$ sur le front d'ondes, est la suivante :

$$\varphi = f(z) \, F(x - c't) ;$$

mais il convient de particulariser cette forme pour la décompo ser en trains harmoniques

$$\varphi = f(z) \cos m(x - c't), \qquad m = 2\pi/\lambda.$$

Alors on a :

$$\frac{\partial^2 f}{\partial z^2} - m^2 f = - m^2 [1 + \psi](z) f,$$

ou :

$$\frac{\partial^2 f}{\partial z^2} = - m^2 \psi(z) f, \qquad \mu^2 = 1 + \psi(z).$$

Pour une perturbation dont les parties conservent leur cohésion et leur organisation le long de leur parcours, $f(z)$ doit tendre vers zéro de part et d'autre du maximum qui a lieu le long de $z = 0$; c'est-à-dire que la courbe représentative de $f(z)$ doit avoir sa concavité tournée vers l'axe des z, condition pour que $\frac{\partial^2 f}{\partial z^2}$ soit négatif ; alors, comme l'amplitude f est positive, $\psi(z)$ doit être positive des deux côtés du plan central. C'est tout simplement la condition

bien connue pour que la couche considérée soit une couche d'indice minimum, au voisinage immédiat de laquelle les rayons doivent grimper vers le sommet de la courbe représentative, en vertu du principe de minimum pour la durée de parcours.

Pour de faibles variations de z, nous pouvons prendre, par exemple :

$$\mu = 1 + Az^2.$$

L'équation qui détermine la loi de l'intensité transversale pour un faisceau constant de trains d'ondes en régime permanent est :

$$\frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + 2m^2 A z^2 f = 0,$$

qu'on peut résoudre graphiquement.

Mais, en réalité, la couche atmosphérique en jeu doit être concentrique à la Terre de rayon a, et l'équation de propagation de cette gerbe de rayons, incurvée parallèlement à la surface, est de la forme :

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r}\frac{\partial \varphi}{\partial r} + \frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 \varphi}{\partial \theta^2} = c_0^{-2}\mu^2\frac{\partial^2 \varphi}{\partial t^2}, \qquad r = a + z,$$

où c_0 est la vitesse le long de $z = 0$ et μ l'indice relatif à la couche.

L'expression mathématique des ondes qui cheminent le long de la couche sans s'en écarter peut, comme ci-dessus, être réduite à la forme harmonique

$$\varphi = f(z)\cos m(a\theta - c_0 t), \qquad m = 2\pi/\lambda.$$

Comme on a :

$$r = a + z,$$

ceci donne :

$$\frac{\partial^2 f}{\partial z^2} + \frac{1}{a+z}\frac{\partial f}{\partial z} - \frac{m^2 a^2}{(a+z)^2} f + m^2\mu^2 f = 0.$$

Ainsi, si

$$g = (a+z)^{\frac{1}{2}} f, \qquad \mu^2 = 1 + \psi(z),$$

on a :

$$\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} + \left\{\left(\frac{1}{4a^2m^2} - 1\right)\left(1 + \frac{z}{a}\right)^{-2} + 1 + \psi(z)\right\} m^2 g = 0.$$

Comme ci-dessus, la couche utile à la transmission s'étend aux valeurs de z qui rendent positif le coefficient de g dans cette équa-

tion. Pour z petit, ce coefficient est approximativement :

$$m^2\left(\mu^2 - 1 + \frac{2z}{a} - \frac{3z^2}{a^2} + \frac{1}{16\pi^2}\frac{\lambda^2}{a^2}\right).$$

Ainsi donc en substituant à μ son développement :

$$\mu = \mu_0 + \left(\frac{\partial \mu}{\partial z}\right)_0 z + \frac{1}{2}\left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial z^2}\right)_0 z^2 + \ldots\ldots,$$

l'équation en g prend la même forme que la précédente en f, qui était l'expression analytique de la concentration des rayons en couches lamellaires de part et d'autre du rayon rectiligne correspondant au temps minimum de parcours. Pour cette assimilation, il suffit que, lorsque $z = 0$, la courbure a^{-1} soit égale à $-\left(\frac{d\mu}{dz}\right)_0$, comme on l'a obtenu ci-dessus, et que, en outre,

$$\mu_0\left(\frac{\partial^2 \mu}{\partial z^2}\right)_0 - \frac{2}{a^2}$$

soit positif.

On peut remarquer que, pour traiter le sujet, apparenté à celui-ci, du mirage optique, il intervient forcément une analyse analogue (cf. Everett, *loc. cit.*).

BIBLIOGRAPHIE.

Histoire du téléphone dans le Royaume-Uni, par F.G.C. Baldwin ; *Londres, Chapman and Hall.* Un volume de 728 pages et 186 figures ou illustrations hors texte. Prix : 3/3/0.

Bien que M. Baldwin limite son exposé historique aux faits qui se sont déroulés dans le Royaume-Uni, c'est en réalité toute l'évolution de la technique téléphonique qui est mise en lumière. Le lecteur français peut tirer un très grand profit de l'exposé des perfectionnements successifs et même de celui des modalités d'organisation des sociétés ou des administrations qui se sont succédé pour l'exploitation du téléphone.

Quand le téléphone fut inventé, il fallait une « hardiesse de pionnier » pour tenter d'en faire un outil commercial. Qui aurait pu se flatter que la faveur du public consacrerait certainement cet appareil scientifique encore peu puissant, coûteux, et qui ne pouvait devenir réellement utile que lorsqu'il aurait conquis une grosse clientèle ? On verra tout à l'heure le travail scientifique qui améliora le téléphone et rendit moins coûteuse la mise en liaison des abonnés.

Dans le Royaume-Uni, comme en France, le téléphone commença par être exploité par l'industrie privée et fut ensuite racheté par l'État. Le rachat définitif par l'État remonte à l'année 1912 en Angleterre. Il en est résulté une réelle coordination dans les méthodes, et M. Baldwin lui-même, qui avait été précédemment ingénieur d'une des compagnies téléphoniques privées, en reconnaît les avantages.

Aujourd'hui, les réseaux téléphoniques ont largement dépassé l'enceinte des villes. Les exploitations municipales, qui avaient été la seule raison d'être du téléphone au moment de sa naissance, ne représentent plus qu'une partie de l'activité téléphonique. La téléphonie interurbaine a imposé la coordination des réseaux urbains,

et déjà la téléphonie internationale commence à imposer la coordination des réseaux interurbains de chaque nation.

Nous ne passerons pas en revue toutes les phases techniques du développement si bien raconté par M. Baldwin. L'appareil téléphonique d'abonné, quelque intéressante qu'ait été son évolution, n'est pas la partie des installations téléphoniques où l'imagination créatrice des savants a réalisé les transformations les plus merveilleuses. C'est dans l'agencement des bureaux téléphoniques, c'est dans la construction des lignes téléphoniques que le progrès a été le plus continu et le plus stupéfiant. M. Baldwin nous conduit du premier petit bureau de Londres en septembre 1879 (photographie communiquée par M. Kitchen) aux modernes bureaux équipés pour la téléphonie automatique (photographies nombreuses) et aux usines qui fabriquent ce curieux matériel. Il a expliqué, en passant, comment on avait successivement amélioré les méthodes de travail et le rendement des opératrices des téléphones et comment on les a enfin supprimées par des mécanismes. En matière de construction de lignes téléphoniques, il raconte, sans négliger la description des lignes aériennes, l'introduction des câbles isolés au papier, les recherches mathématiques sur l'étude de la transmission par câble, le succès définitif de ces recherches après les travaux de Pupin, et enfin l'introduction des amplificateurs électroniques dans les réseaux téléphoniques pour en rendre la portée pratiquement illimitée.

Nous avons été heureux de voir rappeler à la page 503 l'initiative de M. Paul Laffont, sous-secrétaire d'État français des Postes et Télégraphes, après une suggestion de M. Gill à l'Association britannique des ingénieurs électriciens, pour réunir à Paris une commission technique internationale destinée à préparer les voies au développement de la téléphonie intereuropéenne. Nous remercions également M. Baldwin d'avoir rappelé que les *Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* ont publié, en septembre 1923, le rapport approuvé par les nations qui prirent part à cette première conférence. Il y a eu, depuis cette date, d'autres conférences qui poursuivent l'œuvre de la téléphonie intereuropéenne.

Tel est le très important ouvrage historique et le très instructif recueil de documentation technique que M. Baldwin a consacré à

la téléphonie. Nous souhaitons qu'il soit apprécié du public français et puisse servir de modèle aux techniciens qui voudraient écrire une histoire du téléphone en France.

E. Reynaud-Bonin.

Ionisation et résonance des gaz et des vapeurs, par Léon Bloch, docteur ès sciences, préparateur à la Sorbonne (Recueil des conférences-rapports de documentation sur la physique : volume 11, 2e série), édité par la société « Journal de Physique ». Dépositaire : Librairie scientifique Albert Blanchard, Paris, 1925. Prix : 25 francs.

Le comité scientifique qui organise les conférences-rapports de documentation sur la physique a été particulièrement bien inspiré en s'adressant à M. Léon Bloch pour traiter l'importante question de l'ionisation et de la résonance des gaz et des vapeurs. M. Léon Bloch est, depuis de longues années, préparateur à la faculté des sciences de Paris. Il s'est fait connaître comme un physicien d'avant-garde, aussi apte aux recherches théoriques qu'aux recherches expérimentales, et la juste notoriété qu'il leur doit n'est guère en rapport avec la modestie de sa situation officielle. — Comme expérimentateur, M. Léon Bloch s'est d'abord occupé de l'ionisation par barbotage. Ce travail a fait l'objet de sa thèse de doctorat et a été utilisé plusieurs fois, notamment par M. J.J. Thomson dans de récentes conférences sur la théorie électronique de la valence. M. Léon Bloch a obtenu aussi d'importants résultats sur la phosphorescence du phosphore et sur l'ionisation des gaz par la lumière ultra-violette. Ses recherches spectroscopiques forment un ensemble fort intéressant. Il s'est attaché plus particulièrement à l'étude des radiations ultra-violettes, étude faite en commun avec son frère M. Eugène Bloch. Commencé vers l'extrémité du spectre ultra-violet ordinaire, ce travail s'est poursuivi dans la région de Schuman, grâce à l'emploi de spectrographes à vide d'un type nouveau, les premiers de ce genre qui aient été construits en France. — M. Léon Bloch a également obtenu des résultats remarquables dans l'étude des spectres d'étincelles dans l'eau, des spectres fournis par les tubes sans électrodes, des spectres

de bandes de l'azote. — Dans le domaine théorique, l'activité de M. Léon Bloch n'a pas été moindre. Il est l'auteur d'un travail sur la théorie électronique de l'absorption dans les gaz, d'une étude sur le déplacement de l'équilibre en thermodynamique, d'une note sur la formule de Ritz. Il a aussi été l'un des premiers à s'intéresser en France au principe de relativité. Rappelons à ce sujet les deux belles conférences qu'il a bien voulu faire à l'École supérieure des Postes et Télégraphes, et qui ont été l'objet d'une publication. Disons enfin que M. Léon Bloch est l'auteur d'un Précis d'électricité théorique très estimé, où l'enchaînement des idées théoriques qui servent de base aux doctrines électriques est mis très heureusement en lumière.

Le sujet traité par M. Léon Bloch dans ses conférences-rapports est tout à fait moderne. C'est-dire que, si les faits solidement acquis y sont nombreux, les questions inachevées ou en pleine évolution y abondent également. Il fallait, pour les dominer, joindre une grande érudition à un parti pris de simplification et de clarté. L'exposé comprend sept chapitres, dans lesquels on a utilisé la matière de plus de cinq cents mémoires originaux, dont la bibliographie termine l'ouvrage.

Le premier chapitre constitue une introduction. On y trouvera rassemblés les faits qui ont montré l'insuffisance de la théorie usuelle de l'ionisation des gaz : anomalies dans le libre parcours des électrons, dans la mobilité des ions, etc... Ces anomalies, contraires aux explications fondées sur la mécanique classique, indiquent déjà la nécessité d'une mécanique atomique nouvelle, celle des quanta.

Cette nécessité devient tout à fait éclatante quand on aborde l'étude des potentiels d'ionisation et de résonance (Chap. II). Après la description des montages expérimentaux, qui dérivent tous de celui de Franck et Hertz, les relations de ces phénomènes avec la théorie des quanta sont nettement précisées, tant par la méthode électrique que par la méthode optique, en s'attachant surtout au cas des gaz monoatomiques. Ces rapports jouent un rôle essentiel dans la théorie moderne de la structure de l'atome et des séries spectrales (Chap. III). L'étude de certains cas particuliers importants, comme celui des atomes anormaux et celui des atomes métastables, fait l'objet d'un examen spécial (Chap. IV).

La méthode du choc électronique, qui a fait le sujet des chapitres précédents, donne des résultats plus difficiles à interpréter dans le cas des gaz diatomiques, qui sont précisément les gaz usuels, que dans le cas des gaz monoatomiques. Même pour le plus simple des gaz diatomiques, l'hydrogène, les faits expérimentaux ont déjà donné lieu à de nombreuses discussions ; le cas de l'azote est plus délicat encore. L'affinité chimique des divers corps simples gazeux pour les électrons, ou électro-affinité, semble jouer, dans ces spectres, un rôle important dont le détail n'est pas encore parfaitement connu (Chap. V).

Les deux derniers chapitres (VI et VII) traitent des problèmes se rattachant aux effets photoélectriques, problèmes intéressants liés aux précédents, bien que les méthodes expérimentales soient très différentes. Après avoir exposé la relation photoélectrique d'Einstein et sa vérification par Millikan, l'auteur passe en revue des cas particuliers plus ou moins complexes, par exemple celui de la photoélectricité des gaz et des vapeurs, qui touche de si près à leur potentiel d'ionisation. Il termine par l'étude des équilibres statistiques où interviennent les électrons, et il y rattache la théorie du rayonnement thermique d'Einstein, l'effet Compton, etc...

On voit, par cette brève énumération, la richesse du sujet traité. C'est assurément l'une des questions les plus suggestives à l'heure actuelle, et les jeunes physiciens pourront puiser dans l'exposé de M. Léon Bloch non seulement des connaissances nouvelles, mais de nombreux sujets de réflexions et de travaux. Il y verront en particulier l'importance de la théorie des quanta pour la compréhension et l'interprétation de tous les phénomènes atomiques; et ils seront sans doute tentés de se mettre, eux aussi, à là tâche pour contribuer au développement des idées nouvelles, dont la fécondité paraît presque inépuisable.

La commission des Annales tient à faire observer que les cellules photoélectriques ont reçu d'importantes applications en télégraphie, soit dans les stations de câbles sous-marins, soit dans les appareils Belin ou similaires. Nos techniciens ne peuvent donc se désintéresser des travaux scientifiques exposés par M. L. Bloch, d'une façon si magistrale.

BREVETS D'INVENTION.

28.051. — 1re addition au n° 577.762. — Dispositif récepteur pour la télévision. — M. Georges Valensi. — France.

28.057. — 1re addition au brevet n° 573.655. — Amélioration du fonctionnement des téléphones « haut-parleurs. » — Société française Radio-électrique. — France.

28.078 — 1re addition au brevet n° 575.674. — Perfectionnements aux systèmes d'antennes à radiation dirigée. — Société française Radio-électrique. — France.

28.086. — 3e addition au brevet n° 569.221. — Perfectionnements aux tubes à vide du genre « audion ». — M. François Péri. — France.

28.095. — 4e addition au brevet n° 513.880. — Compteur téléphonique de conversation. — M. Robert Ferry. — France.

28.100. — 5e addition au brevet n° 568.149. — Système téléphonique automatique pour grand réseau, avec traducteur et dispositif de contrôle. — Compagnie française pour l'Exploitation des procédés Thomson-Houston. — France.

28.111. — 1re addition au brevet n° 570.941. — Système de commutation automatique. — M. Antoine Barnay. — France.

28.139. — 1re addition au brevet n° 555.358. — Perfectionnements aux appareils de T.S.F. — M. Lucien Lévy. — France.

28.149. — 1re addition au brevet n° 566.005. — Procédé de réception des ondes de T.S.F. par circuits oscillants réunis. — M. Louis-André Vincent. — France.

28.164. — 1re addition au brevet n° 544.611. — Générateur d'oscillations électriques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

28.183. — 1re addition au brevet n° 542.301. — Système récepteur sélectif et antiparasite des ondes électromagnétiques et des courants à période constante. — Société Marrec Ltd (cessionnaire) et M. Yves Marrec. — Angleterre.

28.212. — 1re addition au brevet n° 542.820. — Installation téléphonique pour bureau privé annexe. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

28.236. — 1re addition au brevet n° 568.244. — Perfectionnements au dispositif d'amplificateur à combinateur pour extension de la gamme de longueur d'ondes des systèmes de réception utilisés en radiotélégraphie et en radiotéléphonie et comportant un ou plusieurs étages d'amplification avant détection. — Société anonyme des anciens établissements Louis Ancel. — France.

28.302. — 1re addition au brevet n° 570.201. — Perfectionnements aux dispositifs amplificateurs applicables notamment à la téléphonie avec ou sans fil. — M. Joseph Béthenod. — France.

28.324. — 1re addition au brevet n° 575.508. — Procédés et montages permettant d'alimenter les audions par du courant alternatif industriel. — M. Raymond Depriester. — France.

28.325. — 1re addition au brevet n° 563.532. — Ensemble émetteur récepteur d'appels sélectifs. — M. André Sthegens. — France.

28.327. — 1re addition au brevet n° 563.181. — Perfectionnements aux appareils d'audition de la téléphonie sans fil. — Société française Radio-électrique. — France.

28.333. — 1re addition au brevet n° 579.224. — Perfectionnements dans la réception et l'émission dirigées en T.S.F. — M. Marius Latour. — France.

28.402. — 2e addition au brevet n° 564.508. — Perfectionnements aux amplificateurs alimentés par une source alternative. — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz. — France.

28.406. — 1re addition au brevet n° 573.019. — Perfectionnements aux dispositifs électriques de commutation. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

Le Gérant,

LÉON EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS. -- MCMXXV

14e ANNÉE. — N° 9. SEPTEMBRE 1925. PRIX : 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 RUE THENARD PARIS, Ve.

...x de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger......... 44 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

AVIS

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une Commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette Commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VII[e].

Membres de la Commission :

M. POMEY, Professeur à l'École Supérieure, Inspecteur général des Postes et Télégraphes, Président.

M. A. BLONDEL, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Le Général FERRIÉ, Membre de l'Institut, Inspecteur Général de la Télégraphie Militaire, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

M. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

M. GUTTON, Professeur à la Faculté des sciences de Nancy, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

Les Directeurs du Personnel, de l'Exploitation Télégraphique et de l'Exploitation Postale à l'Administration centrale des Postes et Télégraphes.

M. MILON, Professeur à l'Ecole Supérieure, Directeur de l'Exploitation Téléphonique.

M. FERRIÈRE, Professeur à l'Ecole Supérieure, Inspecteur Général des Postes et Télégraphes

M. AUGIER, Inspecteur Général des Postes et Télégraphes.

M. DIANO, Directeur des Postes et Télégraphes.

M. SAUNIER, Chef de bureau à l'Administration centrale des Postes et Télégraphes.

M. REYNAUD-BONIN, Professeur à l'École Supérieure, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes.

M. VALENSI, Professeur à l'École Supérieure, Ingénieur des Postes et Télégraphes.

MM. TAFFIN, Directeur des Postes et Télégraphes ; GAUCHIE, Inspecteur des Postes et Télégraphes, et LAVOIGNAT, Contrôleur des Postes et Télégraphes, Secrétaires

M. PAULY, Rédacteur des Postes et Télégraphes, Secrétaire adjoint.

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

TABLE DES MATIÈRES.

MESURES MAGNÉTIQUES DANS LE SUD DE LA FRANCE,

par Léon MAUREL,
Inspecteur breveté des Postes et Télégraphes,
ET
Raoul BELUS,
Ingénieur des Postes et Télégraphes.

Les mesures magnétiques qui font l'objet de cette étude nous ont été confiées par la sixième section du Comité français de l'Union internationale de géodésie et géophysique en vue de l'établissement de la carte magnétique de la France. Elles ont été entreprises à la suggestion de M. Mathias, directeur de l'observatoire du puy de Dôme, et avec la bienveillante approbation de M. Deletête, directeur du Personnel au sous-secrétariat d'Etat des Postes et Télégraphes.

Nous avons été initiés à la pratique des mesures par M. Itié, qui nous a transmis avec une grande complaisance, au cours de ses leçons à l'observatoire du Val-Joyeux, les saines traditions de Moureaux. La mesure des éléments du champ magnétique terrestre a été faite d'après les méthodes habituellement employées en campagne. Nous avons effectué les calculs afférents à ces mesures, à l'Institut de physique du globe, de Paris, sous le contrôle autorisé et bienveillant de son directeur, M. Maurain.

I. Appareils et méthodes de mesures.

Les éléments à mesurer sont :

1° l'inclinaison I du champ terrestre par rapport à l'horizontale ;

2° la déclinaison D, angle des deux plans formés par le méridien magnétique et le méridien géographique ;

3° la composante horizontale H du champ terrestre.

Inclinaison. — Considérons une aiguille aimantée mobile autour d'un axe horizontal, constitué dans la pratique par deux petits tourillons posés sur des plans d'agate. Cette aiguille ne peut se mouvoir que dans un plan vertical. L'angle qu'elle fait avec l'horizontale de son plan est une fonction de l'azimut de ce plan ; soit α cet angle. Dans un plan perpendiculaire au méridien magnétique, l'aiguille (dans sa position d'équilibre) est verticale, et l'angle α est de 90° ; si le plan tourne, l'angle α diminue, pour passer par un minimum lorsque le plan de l'aiguille coïncide avec celui du méridien magnétique. Ce minimum est précisément l'inclinaison. D'où la méthode : après avoir rendu au préalable le plan des agates parfaitement horizontal grâce à un niveau placé sur l'appareil, on détermine le plan vertical pour lequel la position de l'aiguille en équilibre est verticale ; une rotation de 90° de l'appareil amène ensuite celle-ci dans le plan du méridien magnétique, et l'on mesure l'inclinaison. Il n'est d'ailleurs pas indispensable que le plan du méridien magnétique soit obtenu avec une grande précision. Nous avons vu, en effet, que l'angle α, fonction de l'azimut, passe par un minimum quand l'aiguille est dans ce plan. Pour une variation infiniment petite du premier ordre de l'azimut au voisinage du méridien magnétique, l'angle α varie d'une quantité infiniment petite du second ordre. En réalité, si l'on tient compte des erreurs d'observation inévitables, une approximation de deux ou trois minutes dans la détermination du méridien magnétique est suffisante. L'aiguille prend rapidement sa position d'équilibre. En première analyse on peut dire que son mouvement, sous l'action du couple magnétique, est une oscillation amortie comme les oscillations d'un diapason dans un milieu résistant. Si l'on y regarde de plus près, on voit que l'aiguille roule en réalité sur ses plans d'agate au moyen de ses tourillons. C'est pourquoi on recommande de la faire osciller à plusieurs reprises, de façon à

éliminer les erreurs qui seraient dues à la présence accidentelle d'un grain de poussière calant les tourillons.

Nos mesures d'inclinaison ont été faites à l'aide de la boussole de voyage petit modèle, de la maison Laderriere. Cet instrument comporte un cercle horizontal muni d'un niveau et un cercle vertical, tous deux divisés. Afin d'éliminer les causes d'erreurs provenant d'un défaut de construction de l'appareil ou des aiguilles, ainsi que des poussières pouvant se trouver sur les tourillons et les plans d'agate, on opère de la façon suivante.

L'aiguille reposant sur ses plans d'agate, on fait trois lectures, en ayant soin de la soulever à l'aide d'un étrier et de la déposer ensuite délicatement sur ses plans ; ces lectures sont d'ailleurs faites en visant successivement les deux pointes. On retourne ensuite l'appareil de 180° en conservant à l'aiguille la position qu'elle occupait primitivement dans l'espace, et on recommence les mêmes expériences. Cela fait, on retourne l'aiguille face pour face et on répète les mêmes opérations que précédemment. Enfin, en vue de remédier à la non-coïncidence possible de l'axe magnétique de l'aiguille et de son axe de figure, on l'aimante à l'aide de deux forts barreaux, en ayant soin d'inverser la nature de ses pôles, et on répète ensuite les mêmes séries d'opérations. Dans la pratique, on fait donc en tout quarante-huit lectures, dont la moyenne des résultats permet de déterminer l'inclinaison.

Ces opérations très délicates n'ont pas le même degré de précision que celles qu'on exécute avec la boussole de déclinaison. C'est pourquoi on opère avec deux aiguilles, afin d'obtenir une approximation plus grande dans les résultats. Il faut d'ailleurs reconnaître que la boussole de voyage ne saurait rivaliser avec l'appareil moyen : ses aiguilles, plus petites, sont bien moins réalisées que les grandes, ce qui est très compréhensible. Nos mesures d'inclinaison ont par suite été assez longues et parfois difficiles. Malgré les nettoyages répétés de l'instrument et des aiguilles, ces dernières (l'aiguille n° 1 en particulier) ne nous donnaient pas immédiatement une indication stable. On pouvait

constater deux positions d'équilibre, autour desquelles se groupaient les moyennes des mesures. Il apparaissait que, lorsqu'on reposait l'axe de l'aiguille sur ses plans d'agate, celui-ci devait prendre deux positions : une bonne, bien normale au plan du méridien magnétique, et une fausse position. Dans ce cas, les indications de l'aiguille passant par un minimum lorsque le plan de celle-ci coïncide avec le méridien magnétique, il aurait pu sembler convenable de prendre, des deux lectures, celle qui était la plus faible. Nous avons préféré multiplier les mesures, de façon à obtenir des résultats aussi rapprochés que possible de ceux qu'aurait donnés la position stable de l'aiguille oscillant dans le plan du méridien magnétique.

Déclinaison et composante horizontale. — La direction de l'axe magnétique d'un aimant ou d'un barreau aimanté, lorsque celui-ci, suspendu par son centre de gravité, est en équilibre, est celle du méridien magnétique. Lorsque ce barreau aimanté oscille, la mesure du temps d'oscillation donne le produit M.H du moment magnétique du barreau par la composante horizontale. D'autre part, la méthode de Gauss permet de calculer le quotient $\frac{M}{H}$, dont on déduit H en faisant le produit de ces deux quantités. Avec un appareil constitué par un barreau aimanté suspendu par son centre de gravité et une lunette permettant de pointer le soleil, on peut donc mesurer D et H. Cet appareil est le théodolite-boussole.

Analyse des mouvements du barreau. — On peut analyser comme il suit les mouvements du barreau. Les forces qui agissent sur lui, sont de trois sortes :

1° les forces magnétiques,

2° la pesanteur,

3° la tension du fil de suspension.

Précisons les paramètres de position, en supposant, dans cette analyse élémentaire, que le mouvement a lieu dans le plan tangent à la sphère de rayon l (l étant la longueur du fil de

suspension) à l'extrémité de la position verticale du fil. En particulier, nous négligerons l'influence de la composante verticale du champ. Restreignons encore le problème en supposant que le centre de gravité du barreau ou encore le point de suspension se déplace sur une perpendiculaire au méridien magnétique OM (autrement dit, une seule coordonnée, au lieu de deux, suffit à en déterminer la position). Cette hypothèse est toujours à peu près remplie, comme on le verra par la suite. Les paramètres sont (fig. 1) :

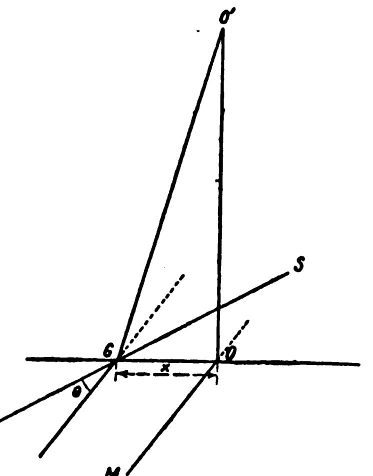
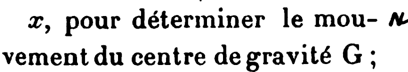


Fig. 1.



x, pour déterminer le mouvement du centre de gravité G ;

θ, pour déterminer celui du barreau N S autour de G.

Évaluons maintenant la force vive du mouvement ; l'opération se fait en deux temps :

1° force vive autour de G, soit : $\frac{1}{2}\, \mathrm{I} \left(\frac{d\theta}{dt}\right)^2$,

ou $\frac{1}{2}\, \mathrm{I}\, \theta'^2$;

(I étant le moment d'inertie du barreau)

2° force vive de la masse M du barreau supposée concentrée en G, soit :

$$\frac{1}{2}\, \mathrm{M} \left(\frac{dx}{dt}\right)^2,$$

ou :
$$\frac{1}{2}\, \mathrm{M}\, x'^2.$$

Par conséquent :
$$\mathrm{T} = \frac{1}{2}\left(\mathrm{I}\,\theta'^2 + \mathrm{M}\,x'^2\right).$$

Nous avons :
$$\left\{\begin{aligned} \frac{d}{dt}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \theta'} - \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial \theta} &= \mathrm{I}\,\theta'', \\ \frac{d}{dt}\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial x'} - \frac{\partial \mathrm{T}}{\partial x} &= \mathrm{M}\,x''. \end{aligned}\right.$$

A une variation $\delta\theta$, correspond un travail du couple magnétique $C\theta$ égal à $C\theta\,\delta\theta$, et rien pour les autres forces. A une variation δx, correspond un travail de la pesanteur de la forme $k\,\frac{x}{l}\,\delta x$, et rien pour les autres, d'où les deux équations suivantes, chacune ne contenant que l'équation différentielle propre à sa variable :

$$\left\{\begin{aligned} &-C\theta = I\theta'' , \\ &-k\,\frac{x}{l} = Mx'' . \end{aligned}\right.$$

Les mouvements déterminés sont bien connus. Nous avons décomposé ainsi le mouvement du barreau :

1° le mouvement oscillatoire de G, que nous appellerons le mouvement pendulaire ;

2° le mouvement du barreau autour de G, ou oscillation magnétique.

L'observateur suit les mouvements de l'extrémité du barreau qui sont le résultat de la composition de l'oscillation pendulaire et de l'oscillation magnétique. On peut considérer un mouvement oscillatoire comme la projection d'un mouvement circulaire uniforme. Une planète, par exemple, oscillera pour un observateur immobile dans le plan de l'écliptique ; de même, pour un observateur terrestre, le soleil, qui semble tourner autour de la terre, oscille. Le mouvement d'une planète devient dans ce cas le résultat d'une double oscillation. On sait que l'on observe un mouvement en avant suivi d'un mouvement de régression, puis le mouvement en avant reprend. Le même phénomène se produit pour l'extrémité du barreau. L'oscillation pendulaire étant faible, la régression est à peine marquée et semble un arrêt dans l'oscillation magnétique.

L'observateur note donc un mouvement saccadé. Dans la mesure de la déclinaison, on cherche à obtenir des élongations égales de chaque côté du repère ; par suite, s'il y a saccades, le repère n'indique plus le méridien magnétique.

Dans la mesure de la composante horizontale, comme on le verra plus loin, on compte cent oscillations et même cent vingt,

lorsqu'on est incertain du compte, ou bien lorsque l'on croit, en mesurant de plus faibles oscillations, être dans de meilleures conditions d'application de la formule. Or, lorsque les oscillations magnétiques sont très amorties, l'oscillation pendulaire prend une importance relative assez grande pour saccader le mouvement.

Dans ce cas, le repérage de l'élongation maxima donne lieu à une incertitude dans le temps.

Dans les deux mesures, nous avons là une cause d'erreur insignifiante pour la déclinaison, mais non pour la composante horizontale. Nous allons donc chercher à nous rendre compte de l'importance relative du mouvement pendulaire.

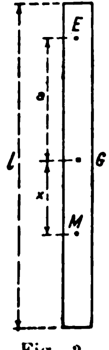


Fig. 2.

Etudions les conditions initiales. Nous avons deux moyens d'action sur le barreau N S : le premier est un système d'arrêt qui immobilise un point de N S ; le second est un mode d'impulsion par lequel on lance le barreau pour compter cent oscillations magnétiques. Etudions les deux cas.

1° *Immobilisation du barreau N S.* — Nous appliquerons le théorème de Carnot relatif à l'introduction de liaisons nouvelles : « La perte de force vive correspond à la force vive des vitesses perdues ou gagnées. »

Soit E le point immobilisé (fig. 2). La vitesse du point M *avant* l'introduction de la liaison est :

$$x\frac{d\theta}{dt}, \text{ ou } x\omega\left(\omega=\frac{d\theta}{dt}\right).$$

Après, elle est de la forme : $(x+a)\,\omega'$.

La vitesse perdue ou gagnée est par suite :

$$(x+a)\,\omega' - x\,\omega.$$

Si I est le moment d'inertie autour de la verticale de G, et I' le moment d'inertie autour de la verticale de E ($I' = I + Ma^2$), la perte de force vive est :

$$\frac{1}{2}\left(I\,\omega^2 - I'\,\omega'^2\right);$$

donc :

$$\frac{1}{2}(I\omega^2 - I'\omega'^2) = \frac{1}{2}\sum m\Big[(x+a)\omega' - x\omega\Big]^2.$$

En réduisant, il vient :

$$I\omega = I'\omega',$$

ainsi qu'on pouvait le prévoir, puisque le moment cinétique par rapport au point E doit se conserver. Or on a :

$$I' = I + Ma^2.$$

Donc, il vient :

$$\omega' = \frac{I}{I + Ma^2}\,\omega.$$

Si l'on assimile le barreau à une tige homogène, on a :

$$I = \frac{1}{12} M\, l^2,$$

d'où :

$$\omega' = \frac{1}{1 + \frac{12 Ma^2}{M l^2}}\,\omega = \frac{1}{1 + \frac{12 a^2}{l^2}}\,\omega.$$

Posons :

$$\frac{a}{\frac{l}{2}} = p\,;$$

il vient :

$$\omega' = \frac{1}{1 + 3p^2}\,\omega.$$

La vitesse angulaire ω' est une fonction décroissante de p.

Le système d'arrêt est d'ailleurs situé près de l'extrémité du barreau. p est sensiblement égal à un, et

$$\omega' = \frac{1}{4}\,\omega.$$

On a alors, pour la vitesse du centre de gravité :

$$V_G = \frac{1}{4}\frac{l}{2}\omega$$

c'est-à-dire le quart de la vitesse du point immobilisé. Si l'on veut que $V_g = 0$, il faut immobiliser le point E au maximum de l'élongation, puis déplacer légèrement le système d'ar-

rêt de manière à ce que le barreau se déplace en frottant, mais *sans perdre de vitesse*. C'est ce à quoi la pratique amène rapidement, bien qu'au début on arrête instinctivement le barreau au moment ou il passe par la position d'équilibre. En somme, le système d'arrêt n'arrête pas, mais ralentit par son frottement.

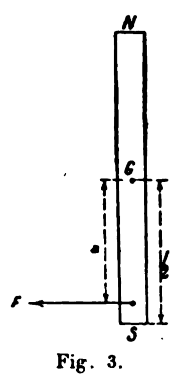


Fig. 3.

2° *Impulsion donnée au barreau N S*. — Dans ce cas, en précisant nous restreignons encore la réalité, mais l'analyse donne néanmoins des indications si l'on consent à ne pas tenir les résultats pour absolument rigoureux. Supposons donc qu'on applique une force F perpendiculaire à O M au barreau N S (fig. 3) dans un temps très court Δt.

Appliquons le théorème du moment cinétique autour d'un axe passant par G, ce qui est possible même si G est en mouvement (x étant la distance d'un point du barreau à G). On a :

$$F a + C = \frac{d}{dt}\left[\sum m\, x \frac{d\theta}{dx}\, x\right],$$

ou :

$$F a + C = \frac{d}{dt}\left(I\, \frac{d\theta}{dt}\right);$$

d'où

$$F a\, dt + C\, dt = I\, d\left(\frac{d\theta}{dt}\right),$$

En intégrant, $\int_0^{\Delta t} C\, dt$ étant négligeable, il vient :

$$\int_0^{\Delta t} F a\, dt = a \int_0^{\Delta t} F\, dt = I \overset{\Delta t}{\underset{0}{\Delta}} \left|\frac{d\theta}{dt}\right|.$$

Posons : $P = \int_0^{\Delta t} F\,dt$ (c'est une percussion) ;

on a :
$$aP = I\Delta\left(\frac{d\theta}{dt}\right).$$

Considérons le centre de gravité ; il se meut comme si toutes les forces y étaient appliquées ; la tension du fil et le poids se font sensiblement équilibre ; C a une résultante nulle ; donc :

$$F = M\frac{d^2x}{dt^2}$$

(x représente l'élongation de G), et par suite :

$$F\,dt = M\,d\left(\frac{dx}{dt}\right) = M\,dV \text{ (V = vitesse de G)},$$

$$\int_0^{\Delta t} F\,dt = P = M\Delta V;$$

donc :

$$\Delta V = \frac{P}{M}.$$

Nous supposons le barreau à peu près immobile au début. L'impulsion communique à G la vitesse $\frac{P}{M}$, et à l'extrémité du barreau :

$$\frac{P}{M} + \frac{l}{2}\Delta\left(\frac{d\theta}{dt}\right) = \frac{P}{M} + \frac{l}{2}\cdot\frac{aP}{I}$$

Comparons ces deux vitesses en négligeant $\frac{P}{M}$ devant $\frac{l}{2}\cdot\frac{aP}{I}$. Leur rapport est :

$$\frac{l}{2}\cdot\frac{aM}{I}\left(\text{et comme } a \text{ est de l'ordre de } \frac{l}{2}\right) = \frac{l^2}{4}\times\frac{M}{I} = 3.$$

On obtiendrait dans ce cas, comme dans le précédent, une meilleure approximation en prenant le moment d'inertie d'un cylindre autour d'une droite du plan diamétral. Pratiquement, il ne s'agit pas d'une véritable « percussion », laquelle donnerait le mouvement saccadé. On apprend très vite, dans la mesure de la composante horizontale, à approcher le métal magnétique qui

doit troubler l'immobilité du barreau. Néanmoins on peut provoquer une faible oscillation pendulaire, qui, inaperçue au début, cause à la fin le mouvement saccadé en raison de l'importance relative de plus en plus grande de ce mouvement pendulaire, moins vite amorti que l'oscillation magnétique.

Un autre mouvement du barreau est une vibration verticale, provoquée par le collage du barreau au système d'arrêt suivi d'une séparation brusque lorsqu'on abaisse celui-ci. Le remède est simple, et consiste à utiliser la peau de chamois à un surcroît de nettoyage.

Nous n'avons analysé jusqu'ici que les conditions initiales ; il faut y ajouter des pertubations susceptibles de se produire au cours du mouvement. Notons une des plus gênantes, qui est le vent. Celui-ci, en effet, par le travers de l'appareil, peut donner des impulsions très désagréables, comme d'ailleurs dans la boussole d'inclinaison, car dans les deux cas il est impossible de réaliser une étanchéité absolue de l'instrument. Une autre cause de pertubation, est due aux courants vagabonds. Enfin les lignes d'énergie (courant continu) peuvent également gêner les mesures jusqu'à des distances de l'ordre du kilomètre. Le courant alternatif est moins à craindre, et il suffit, dans la plupart des cas, de s'en éloigner de deux à trois cents mètres pour éliminer entièrement son influence. Nous avons fait à Auzat (Ariège) une expérience très probante : en effectuant des mesures d'inclinaison, d'une part en un point situé en dehors du village, d'autre part à l'entrée de celui-ci et à proximité d'une ligne de lumière, nous avons pu constater, dans les valeurs trouvées, une différence de vingt minutes ; cette ligne n'alimentait cependant que quelques lampes ; son influence sur nos aiguilles n'en était pas moins manifeste.

Mesure de la déclinaison. — La détermination de la déclinaison comprend deux séries de mesures distinctes au moyen du théodolite-boussole.

1° recherche du méridien géographique,

2° recherche du méridien magnétique.

La déclinaison (angle de ces deux méridiens) se mesure en déterminant leurs azimuts par rapport à un même cercle horizontal divisé, et en faisant la différence de ces azimuts. Si, vers le nord, le méridien magnétique est à l'est du méridien géographique, la déclinaison est dite *orientale*; elle est *occidentale* si le méridien magnétique est à l'ouest du méridien géographique.

Les observations relatives au méridien géographique consistent en fait, d'une part, dans la mesure de la hauteur du centre du soleil au-dessus de l'horizon, complément de la distance zénithale; d'autre part, dans la mesure de l'angle horaire au moyen d'un chronomètre. Pour cela, après avoir mis l'appareil de niveau et visé au loin un repère fixe (de façon à pouvoir contrôler à la fin des observations que l'appareil n'a pas bougé), on fait, avec la lunette du théodolite, plusieurs visées du soleil en encadrant cet astre à l'aide d'un réticule à quatre fils qui se trouve à l'intérieur de la lunette. Ayant noté l'heure exacte (en temps moyen de Greenwich) à laquelle a été encadré le soleil, on inscrit sur un carnet les lectures faites sur le cercle horizontal et le cercle vertical du théodolite. On tourne ensuite l'appareil de 180° et on effectue une deuxième visée de l'astre dans les mêmes conditions. Puis on fait deux nouvelles lectures. L'ensemble de ces deux opérations s'appelle un *pointé*. Dans la pratique, on effectue cinq pointés du soleil, de manière à éliminer les erreurs d'observations. A la fin des opérations, on a soin de noter sur le carnet la température de l'air et la pression barométrique, renseignements qui permettent par la suite de faire subir, à la distance zénithale trouvée, les corrections dues à la réfraction et à la parallaxe. Connaissant d'ailleurs la latitude du lieu de l'observation et la déclinaison du soleil donnée par la connaissance des temps, l'application d'une formule bien connue permet de calculer par logarithmes le méridien géographique.

La détermination du méridien magnétique se fait en recherchant la position d'équilibre du barreau dans un plan horizontal; on tâche d'arrêter le barreau, ce qui pratiquement est impossible car il faut aller vite. Pour cela, on réduit les oscillations à

l'aide d'un système d'arrêt se déplaçant de bas en haut, et on apprécie, au moyen de trois repères, si les élongations de chaque côté du plan de visée sont égales. On a soin d'ailleurs de faire plusieurs expériences, de façon à diminuer les erreurs pouvant provenir des imperfections de symétrie du barreau et aussi de construction de l'appareil. On fait d'abord une lecture pour chaque extrémité du barreau une fois que celui-ci est en équilibre, puis on recommence l'opération en le retournant de 180° autour de son grand axe. Ensuite on fait subir à l'appareil une rotation de 180° autour d'un axe vertical, et on recommence les mêmes opérations. La moyenne des lectures faites donne la trace du méridien magnétique sur le cercle horizontal du théodolite.

L'appareil employé à cet effet au cours de notre campagne était un théodolite de voyage de la maison Chasselon (n° 101). Malgré ses dimensions restreintes, cet instrument est en tous points comparable au moyen modèle et nous a donné entière satisfaction. Ses barreaux sont à peu près de même longueur et le dispositif de visée sur miroir concave est deux fois plus sensible; l'image du repère va, en effet, deux fois plus vite que le barreau, et l'on s'arrange pour qu'à l'élongation maxima sa position coïncide avec deux traits équidistants du repère.

Mesure de la composante horizontale. — Nous avons déjà indiqué le principe de la méthode. La première opération consiste à faire osciller le barreau suspendu par son centre de gravité G et à mesurer le temps d'oscillation, ce qui donne M.H. On étudie ensuite les déviations produites par un barreau de longueur deux fois moindre placé à l'extérieur dans une direction perpendiculaire au premier barreau. Cette opération donne le quotient $\frac{M}{H}$. On commence donc, comme on l'a fait pour la déclinaison, par arrêter le barreau oscillant ; puis on le vise dès qu'il est dans sa position d'équilibre : à ce sujet on peut faire les mêmes remarques que précédemment, car les oscillations du barreau sont affaiblies mais non arrêtées. On lance ensuite le barreau. L'impulsion est donnée en approchant de l'un des pôles

un objet en métal magnétique. Nous avions coutume de nous servir à cet effet du chronomètre, dont le spiral d'acier était suffisamment magnétique. On compte alors le nombre d'oscillations complètes ou doubles du barreau en mouvement. Pour ne pas se tromper, il faut convenir de noter le passage du barreau dans un sens déterminé, de gauche à droite par exemple. On note zéro au premier passage, tandis qu'en même temps on déclanche le compteur à secondes. Dès qu'on a compté cent oscillations doubles, on l'arrête; on a ainsi le temps d'oscillation.

Cette méthode opératoire a certains inconvénients. Tout d'abord, si l'on se trompe d'une ou deux oscillations on n'a aucun moyen de s'en apercevoir *a priori*; en outre, il en résulte pour l'observateur une certaine fatigue, étant donné que l'on effectue ce comptage en visant à travers le microscope tandis qu'on tient la montre à bout de bras. Nous possédions à cet effet un chronomètre à rattrapante muni de deux aiguilles mobiles pouvant partir en même temps, et dont l'une (la rattrapante) était arrêtée seule à l'instant voulu par l'observateur. Dans la pratique, on compte d'abord vingt oscillations, en ayant soin de faire partir les deux aiguilles dès que commence la première oscillation; à la vingtième, on arrête la rattrapante et on laisse le barreau continuer ses oscillations sans les suivre. La rattrapante donne le temps de vingt oscillations, et l'on prévoit l'instant où devra se produire la quarantième. Lorsque celle-ci va passer, on se remet à l'appareil sans crainte de la manquer en s'y prenant 2 ou 3 secondes à l'avance, puisque la durée d'une oscillation est de l'ordre de 3 ou 4 secondes. Lorsque le barreau passe par sa position d'équilibre, on arrête de nouveau la rattrapante. Le temps est précisé de cette manière; on le note, et l'on répète la même opération pour la soixantième, la quatre-vingtième, la centième oscillation; on va même quelquefois jusqu'à cent-vingt. Si l'on a compté une ou deux oscillations en plus ou en moins, on s'en aperçoit d'ailleurs par comparaison. Notons enfin que les deux expériences donnant le temps d'oscillation encadrent la mesure de déviation. Les observations relatives à la composante horizontale sont toujours effectuées à

l'ombre, afin qu'aucune variation de température ne vienne modifier le moment magnétique du barreau.

II. Stations et mesures (1).

Conformément au programme qui nous avait été tracé par M. Mathias, secrétaire de la sixième section du Comité français de l'Union géodésique et géophysique internationale, nous avons effectué nos mesures du 8 août au 4 septembre 1924, dans vingt-deux stations comprises dans les départements de l'Aude, de l'Ariège, et des Pyrénées-Orientales.

Le nombre relativement peu élevé de nos stations est dû à deux causes. D'une part, un accident survenu à St-Girons au cours des mesures de composante (rupture du fil de suspension de l'étrier du théodolite) a obligé l'un de nous de se rendre à Paris pour faire effectuer la réparation de l'appareil ; d'où une immobilisation de plusieurs jours. D'autre part, le mauvais temps nous a beaucoup gênés pendant la première partie de la campagne. C'est ainsi qu'au Mas-d'Azil (Ariège) la pluie n'a cessé de tomber durant toute la journée, empêchant toute tentative de mesures. Dans bien des cas, les visées du soleil ont dû être faites à travers les nuages ; à Foix, notamment, le ciel étant resté couvert toute la journée, il nous a été impossible de déterminer le méridien géographique, et par suite d'avoir la déclinaison. Le vent a été également une cause de gène considérable, en particulier à St-Paul-de-Fenouillet et à Carcassonne. Nous avons éprouvé parfois d'énormes difficultés pour trouver un emplacement convenable dans une région où les lignes d'énergie et les voies de chemins de fer sont très nombreuses : à Millas, par exemple, nous avons cru devoir nous éloigner de la voie ferrée d'environ un kilomètre et opérer entre les passages des trains ; dans aucun cas nous n'avons fait nos observations à moins de deux kilomètres des lignes d'énergie à courant continu ; nous

(1) La description détaillée des mesures faites au cours de notre campagne sera publiée ultérieurement dans les *Annales de l'Institut de physique du globe de l'Université de Paris*.



pensons avoir ainsi réduit leur influence au minimum, car l'annulation complète par la distance est presque impossible, étant donné que l'on ne connaît pas le chemin suivi par les courants de retour.

Quoi qu'il en soit, et en dépit de circonstances atmosphériques souvent défavorables, nous avons pu effectuer des mesures complètes dans vingt-deux stations, sauf à Foix et à St-Girons pour les raisons indiquées précédemment. Parmi les vingt-deux stations visitées par nous, treize faisaient partie de l'ancien réseau de Moureaux, ce qui nous a permis de calculer les variations séculaires des éléments magnétiques entre les deux époques 1896,0 et 1922,0. On en trouvera les valeurs moyennes à la fin de ce mémoire.

Notons encore que des expériences, faites au début et au retour de notre campagne par M. J. Itié à l'observatoire du Val-Joyeux[1], ont permis d'obtenir les valeurs ci-dessous des constantes des barreaux et des aiguilles :

barreau n° 1 : .... log. $C_1 = \bar{1},5912149$;
barreau n° 2 : .... log. $C_2 = \bar{1},5890825$;
aiguille n° 1 : ... correction $= -5',1$;
aiguille n° 2 : ... correction $= -1',1$.

On remarquera que la correction est beaucoup plus faible pour l'aiguille n° 2, celle-là même qui nous a donné le plus de satisfaction et que nous avons presque uniquement utilisée pour la mesure de l'inclinaison.

Le tableau des résultats numériques déduits de nos mesures et donnant, pour chacune des stations visitées par nous, les valeurs des éléments magnétiques D, I et H ramenées au 1er janvier 1922, a été annexé au mémoire que nous avons présenté à l'Institut de physique du globe de Paris. La publication en sera faite dans les *Annales* de cet établissement, où nos lecteurs que la question intéresse voudront bien se reporter.

Les valeurs insérées dans ce tableau nous ont permis de

(1) Expériences faites par comparaison avec le magnétographe en service dans cet observatoire.

constater que la distribution des éléments magnétiques se faisait dans la région en conformité des résultats obtenus au cours des observations faites antérieurement par MM. Moureaux et Éblé. On peut y remarquer que la déclinaison décroît à mesure que l'on se déplace vers l'est, et que l'inclinaison, variant avec la latitude, diminue quand on se rapproche de l'équateur. La composante horizontale, par contre, augmente à mesure qu'on se dirige vers le sud.

Au cours de notre campagne, nous n'avons constaté aucune anomalie. Dans la majorité des cas, nos mesures ont été faites par situation magnétique calme. Il est bon de remarquer d'ailleurs que les Pyrénées sont constituées en général par des roches assez peu magnétiques. Nous pensions néanmoins trouver à Auzat (Ariège) une légère pertubation due à la présence des mines de Vicdessos. Il n'en a rien été, ce qui prouve que l'influence des gisements de fer dans cette région a été nulle sur nos aimants.

III. Variations séculaires.

Parmi les vingt-deux stations dans lesquelles nous avons effectué nos mesures, treize faisaient partie de l'ancien réseau magnétique et avaient été visitées par Moureaux en 1894, 1895 et 1896. Les valeurs des éléments magnétiques dans les stations précitées, ramenées à la date du 1er janvier 1896, ont été publiées dans les *Annales du bureau central météorologique* (année 1896). Le rapprochement des valeurs de la déclinaison, de l'inclinaison et de la composante horizontale obtenues par Moureaux, et réduites à la date indiquée plus haut, de celles que nous avons déduites nous-mêmes de nos observations rapportées au 1er janvier 1922 nous a permis de déterminer la variation séculaire de chacun des éléments magnétiques.

Pour l'ensemble de nos stations, la moyenne de ces variations, pour les éléments D, I, et H, entre les époques 1896,0 et 1922,0, est la suivante :

$\Delta D = -2°52'$ (valeurs extrêmes : $-2°59'$ et $-2°47'$);

$\Delta I = -0°55'$ (valeurs extrêmes : $-1°2'$ et $-0°5'$);
$\Delta H = +0{,}0037$ (valeurs extrêmes : $+0{,}0044$ et $+0{,}0034$).

La moyenne des variations séculaires à l'observatoire du Val-Joyeux a été, entre ces mêmes époques :

$$\Delta D = -2°59' ;$$
$$\Delta I = -0°32' ;$$
$$\Delta H = +0{,}0015.$$

En comparant d'une part les valeurs ci-dessus, d'autre part celles qui ont été publiées sur le même sujet par MM. Baldit, Brazier, Dongier, Éblé, Mathias, Maurain et Tabesse (1) qui ont effectué des mesures magnétiques dans d'autres régions de la France, il apparaît très nettement que les variations séculaires des éléments I et H sont fonction de la latitude du lieu.

En particulier, l'inclinaison et la composante horizontale accusent un accroissement de leurs variations respectives ΔI et ΔH à mesure que l'on se rapproche de l'équateur.

Les variations séculaires de la déclinaison, par contre, subissent surtout l'influence de la longitude.

(1) *Annales de l'Institut de physique du globe de l'université de Paris* : année 1924, tome II; année 1925, tome III.

AU PALAIS DE LA PAIX :
L'académie de droit international de la Haye (session de 1924),

Par Roger LACOMBRADE, sous-chef de bureau des Postes et Télégraphes, et Louis JAMMES, ingénieur des Postes et Télégraphes.

Le 14 juillet 1923, à la Haye, au palais de la paix, était inaugurée, dans la grande salle d'audience de la cour permanente de justice internationale, l'académie de droit international, créée grâce au concours de la dotation Carnegie pour la paix internationale. Aussitôt après, cette académie ouvrait son enseignement en faisant appel à des spécialistes du droit international et particulièrement à des professeurs de droit du monde entier et à des membres d'organismes internationaux.

La deuxième session de l'académie devait se tenir en 1924. Le programme fut réparti en deux périodes, du mois de juillet au mois d'octobre. La période d'été avait semblé à l'administration de l'académie plus particulièrement indiquée, en raison des facilités de déplacement qu'elle offre aux professeurs et aux auditeurs. Chaque période comportait une série de treize enseignements différents confiés à des spécialistes de ces matières. Quelques-uns de ces cours intéressaient particulièrement des professionnels des P.T.T. : telles étaient les séries de conférences sur les unions internationales de nature économique, professées par M. W. Kaufmann de l'université de Berlin, et sur l'organisation internationale des voies de communication, professées par M. Bourquin de l'université de Bruxelles.

L'administration française des P.T.T. décida, en conséquence, de déléguer deux fonctionnaires pendant quelques jours, à l'académie de droit international. Ces fonctionnaires furent accueillis avec une parfaite bonne grâce par M. van Kleffens,

directeur au ministère des affaires étrangères des Pays-Bas et secrétaire du conseil d'administration de l'académie de droit international. Ils furent mis par lui en relations avec les auditeurs venus de toutes parts pour profiter de cet enseignement. En effet, 37 nationalités étaient représentées, dont 19 d'Europe, 6 d'Amérique, 4 d'Asie et 2 d'Afrique. Comme il arrive trop souvent, la France n'était pas représentée par un nombre d'auditeurs correspondant à son importance mondiale : 9 seulement de nos compatriotes se rendirent à la Haye, à côté de 28 Allemands, 17 Américains des États-Unis, 12 Tchéocoslovaques, 10 Anglais.

Un grand nombre de ces auditeurs étaient des fonctionnaires civils ou militaires ou des diplomates. La plupart d'entre eux étaient docteurs en droit et aptes, par suite, à tirer le meilleur parti de l'enseignement.

Conformément à la règle de l'académie, tous les professeurs ont fait leur cours en français. Si certains d'entre eux s'exprimaient dans notre langue avec pureté et même avec élégance, d'autres, au contraire, semblaient éprouver quelque difficulté à traduire en français les idées abstraites qu'ils exposaient. Mais la bonne grâce qu'ils avaient mise à affronter cette difficulté et à renoncer à leur langue nationale est à la fois un hommage rendu à la nôtre et un rappel d'un long usage diplomatique. Et c'est sans doute aux qualités de précision et de clarté de notre langue que les professeurs qui paraissaient les plus imprégnés de culture française durent d'être tout particulièrement applaudis d'une assistance dont la majorité était constituée d'éléments anglo-saxons.

Ainsi qu'il a été dit ci-dessus, MM. Wilhelm Kaufmann, professeur à l'université de Berlin, et Bourquin, professeur à l'université de Bruxelles, traitèrent des unions internationales de nature économique et de l'organisation internationale des voies de communication.

Les relations sociales se sont développées en même temps que se développait le progrès ; particulièrement les relations internationales ont pris une importance sans cesse croissante.

Le sort de l'humanité dépend de plus en plus étroitement de la manière dont se forment les rapports entre les peuples. La technique et l'intelligence seules ne permettent pas de résoudre les questions sociales, surtout quand elles intéressent plusieurs États. Il leur faut le concours de forces intérieures de l'âme humaine, de l'éthique et de la conscience. La destinée humaine dépendra de la direction qui sera donnée au droit international pour le faire servir le mieux possible à la réalisation de la justice.

L'accroissement des relations internationales au cours de la seconde moitié du XIX[e] siècle en a rendu inévitable la réglementation juridique. En se livrant à un matérialisme et à un égoïsme nationaux, l'humanité serait conduite, par le développement même de son intelligence, à sa ruine. Si, au contraire, les forces morales et éthiques s'unissent aux forces matérielles, l'humanité pourra réaliser, au moins en partie, les prophéties grandioses de ses anciennes religions.

L'idée d'une communauté internationale a trouvé son expression dans un nombre toujours croissant d'organisations et de réalisations pratiques. Les unions internationales de nature économique forment une très importante partie de la totalité des unions internationales.

Le mouvement commença par la création d'organes isolés, sporadiques. Mais, avec la progression de ce mouvement, les organisations devinrent plus développées, plus vastes, en même temps que plus nombreuses. Il y a encore des organes isolés ou transitoires, mais le nombre s'accroît d'unions durables et pourvues de toute une série de rouages. A côté d'organes internationaux de liaison, de préparation, il y a des organes de contrôle, quasi législatifs, administratifs et arbitraux, quelquefois judiciaires. Tandis que les anciennes conventions se restreignaient à un but spécial et technique et qu'elles vivaient sans liaison entre elles, le besoin devenait pressant d'une organisation internationale avec des buts plus compréhensifs : pacifier le monde, organiser la coopération internationale et coordonner les efforts communs et internationaux de la manière la plus juste et la plus pratique.

Des tentatives de communauté restreinte s'étaient surtout manifestées par des unions douanières dans des confédérations d'État. Mais, si l'union s'était faite à l'intérieur de ces confédérations, elle ne s'était pas réalisée dans les relations des États composants avec l'extérieur. Le bien-être de l'humanité semblait de plus en plus exiger l'organisation d'une communauté internationale, susceptible, au cours du temps, de devenir mondiale.

Le premier essai dans ce sens a abouti à la création de la société des nations, essai imparfait, mais néanmoins intéressant. En attendant qu'une société des nations plus parfaite incorpore tous les accords économiques, les unions restreintes conservent leur existence indépendante ; mais elles se ressentiront dans l'avenir de l'existence de la société des nations et rempliront ainsi de meilleure façon leur but final, qui est de servir au progrès de l'humanité tout entière.

Les unions douanières n'ont pas un caractère général ; elles se ressentent de préoccupations politiques et se distinguent par cela des unions de nature vraiment économique. Beaucoup de celles-ci sont des unions ouvertes à tous les États qui voudraient y adhérer ; elles ont des organes permanents communs : assemblée générale, bureaux, conseils, commissions techniques. Les États membres ont le droit, dans la plupart des cas, d'envoyer un ou plusieurs délégués à l'assemblée générale ou aux conseils. Très souvent, ces délégués s'expriment et votent d'après les instructions de leurs gouvernements ; mais dans d'autres circonstances, ils ont une liberté très marquée. Les juges et les arbitres doivent décider d'après leurs convictions personnelles et les principes du droit international, sans avoir à se référer à leurs gouvernements. Parfois les organes de ces unions ne sont pas choisis par les États, mais par des organismes internationaux ou par un État-membre délégué par les unions. Assez souvent, les membres et les conseillers des organismes internationaux sont immédiatement et directement responsables de leurs actions et de la conformité de leurs avis avec les principes du droit international sans pouvoir invoquer les instructions de leurs gouvernements.

Dans certaines conventions, les colonies sont représentées, soit qu'elles y participent comme membres indépendants de leur métropole, soit que celle-ci dispose, en raison de ses colonies, d'un vote plural.

Les unions de nature économique voient leur domaine s'étendre constamment. Les unes visent les choses relatives à l'agriculture et autres productions essentielles. D'autres se rapportent à l'industrie, au commerce, aux productions de l'esprit et aux moyens de communication.

*
* *

L'institut international d'agriculture. — Il a été créé en 1905 par la convention de Rome, conclue sur l'initiative du roi d'Italie pour remédier aux inconvénients résultant, pour les agriculteurs isolés, de l'existence de trusts puissamment documentés. Une organisation permanente siège à Rome, avec mission de concentrer et de publier les renseignements économiques et statistiques concernant l'agriculture et son commerce, les salaires, les renseignements relatifs aux maladies des végétaux, aux coopératives, assurances et crédits agricoles.

Presque tous les États sont devenus membres de l'institut, dont l'activité a eu d'importants résultats.

Union pour combattre le phylloxera. — Le phylloxera apparut en Europe vers 1864 et, de cette date à 1878, il détruisit une grande partie des vignobles. Une conférence se réunit à Lausanne en 1877; en 1878, fut signée la convention de Berne qui fut révisée en 1881 et 1889. Son but était d'entreprendre une action commune pour enrayer la marche du fléau et préserver les territoires épargnés. Elle réglait les conditions de transport de la vigne, prescrivait la mise en interdit des terres phylloxérées, obligeait les États à s'informer réciproquement des progrès du mal, à se communiquer les mesures, lois, ordonnances, etc... édictées contre sa propagation. L'union a puissamment contribué à restreindre l'action dévastatrice du phylloxera.

Conservation des oiseaux utiles à l'agriculture et autres espèces animales. — La protection des oiseaux fait l'objet d'une convention de Paris de 1902. Une convention de Londres, en 1910, en étendit l'action à l'Afrique pour empêcher le massacre de certains animaux inoffensifs. La convention de Paris protège les oiseaux insectivores et interdit certains moyens de destruction. Celle de Londres protège les femelles et les petits, organise des réserves sur certains territoires et favorise la domestication de certaines espèces.

Pêche. — En 1885, la convention de Berlin réglementa la pêche du saumon dans le Rhin.

Dans la mer du Nord, une concurrence avait surgi entre pêcheurs appartenant à différentes nations. En vue de prévenir des conflits internationaux, la convention de la Haye, en 1887, réglementa la police de la pêche ainsi que la vente des spiritueux dans ces parages.

La conférence de Christiania, en 1901, décida d'effectuer des travaux biologiques et hydrographiques dans les mers de l'Europe septentrionale, en vue d'une exploitation rationnelle de la pêche, et d'étudier les conditions d'existence des poissons migrateurs.

Dans le Pacifique et dans l'Atlantique, la convention de Washington assura la protection des phoques et des loutres au nord du 30e parallèle. Elle réalisa un accord pour l'exploitation méthodique de ces espèces.

Protection de la propriété industrielle. — Avec le développement des sciences et du machinisme, la question de la protection de la propriété industrielle devint vite internationale, en raison des progrès réalisés dans les communications entre peuples. De nombreuses conventions bilatérales intervenues entre différents Etats devinrent insuffisantes. Aux expositions universelles de Vienne et de Paris, en 1873 et 1878, des congrès élaborèrent des projets. A la suite de conférences tenues à Paris en 1880 et 1883, furent signés le protocole de Madrid en

1891 et les actes additionnels de Bruxelles et de Washington. En outre de l'union principale, deux unions restreintes furent conclues, l'une pour la protection des marques de fabrique, l'autre pour l'indication de fausses provenances. La convention, suspendue par la guerre, fut remise en vigueur par l'acte de Berne en 1920.

Le but de l'union est d'assurer une complète et efficace protection du droit des inventeurs, en même temps que la loyauté des transactions commerciales. Ces dispositions concernent les marques de fabrique, les dessins et modèles, les indications de provenance et la concurrence déloyale. Le dépôt d'une demande de brevet d'invention dans un certain pays donne, pendant un délai déterminé, un droit de priorité dans les pays contractants. Chaque pays a un service spécial de la propriété industrielle et de communication des brevets. Un office international a été institué à Berne sous l'autorité du gouvernement suisse ; il publie une feuille périodique d'informations.

L'union a réservé aux pays contractants le droit de prendre des arrangements particuliers ne dérogeant pas aux dispositions générales de la convention. C'est ainsi que fut signée entre neuf Etats, en 1891, la convention de Madrid, modifiée par l'acte de Bruxelles en 1900. Les sujets des pays contractants jouissent, pour la propriété industrielle, des mêmes avantages que ceux qui sont accordés aux nationaux, sous réserve de se soumettre aux mêmes formalités en ce qui concerne l'enregistrement des brevets et des marques de fabrique.

Les enregistrements sont notifiés à Berne et publiés dans le journal de l'union en même temps qu'ils sont notifiés par le bureau international aux Etats contractants.

Dans l'Amérique du Sud, existe une convention analogue pour la protection de l'industrie dans les pays américains.

Protection de la propriété littéraire et artistique. — La protection de la propriété littéraire et artistique est devenue d'un intérêt croissant depuis l'invention de la typographie. Au début, les éditeurs furent mieux protégés que les auteurs. Jus-

qu'au XIXe siècle, la protection ne concerna que les livres indigènes ; quelquefois même la contrefaçon des livres étrangers était favorisée. Mais, avec le développement des relations internationales, ces contrefaçons furent progressivement considérées comme des violations de la justice.

En 1878, une union internationale fut fondée à Paris. En imitation de ce qui avait été fait pour la protection de la propriété industrielle, le gouvernement suisse provoqua, en 1884, une conférence diplomatique qui fut suivie, peu après, de deux autres. Une convention fut signée, en 1886, par dix Etats, complétée et révisée par l'acte additionnel de Paris en 1896 et la convention de Berlin en 1908. Le droit d'adhésion est réservé.

Le but de l'union est de protéger les droits des auteurs pour toute production littéraire ou artistique. L'expression « œuvre littéraire ou artistique » comprend toutes les œuvres, quel qu'en soit le mode ou la forme de reproduction (cinématographie, musique mécanique, radiotéléphonie ou radiotélégraphie). Les droits reconnus aux nationaux sont également accordés aux étrangers. Le droit de traduction est réglementé en accord avec le respect des droits d'auteur. La durée de la protection est limitée à 50 ans après la mort de l'auteur. Toute œuvre contrefaite peut être saisie dans un pays de l'union. Un bureau international est institué à Berne. La faculté d'adhésion est réservée pour tous les Etats qui assurent la protection nationale des œuvres littéraires et artistiques.

Unions internationales douanières. — a) *Union douanière allemande.* — L'union douanière allemande ou Zollverein a reposé sur une série de traités entre la Prusse et les autres États de l'Allemagne. Elle fut, à l'origine, une union internationale ; mais, depuis 1871, elle devint une institution étatique comportant la suppression des lignes douanières entre les États de l'Allemagne, sauf quelques exceptions. Désormais, il y eut une ligne de douanes commune à la frontière des pays étrangers. Cette union a joué un grand rôle dans la vie économique et politique de l'Allemagne. Elle a passé des accords avec la France et

Monaco, la Belgique et le Luxembourg. Il y a des accords douaniers de même nature entre la Grande-Bretagne et ses dominions, entre la France et l'Amérique, entre la Belgique et le Luxembourg, entre la Pologne et la ville libre de Dantzig.

b) *Union internationale relative au régime des sucres.* — Depuis la découverte du nouveau monde, l'expansion de la culture de la canne à sucre était devenue très importante. Cette culture constituait un facteur considérable, notamment dans les relations coloniales. Aussitôt après la production du sucre de betterave, certains pays des zones tempérées concurrencèrent les pays chauds. Le sucre est une matière fiscale et la fiscalité servit de moyen à la concurrence internationale. Dans les pays du centre de l'Europe se constituèrent des unions qui empêchèrent la fixation rationnelle des prix. Grâce aux primes payées dans les pays continentaux producteurs de sucre, les Anglais payaient le sucre à un prix inférieur au prix de revient. Mais les colonies britanniques se trouvaient, de ce fait, très désavantagées ; elles protestèrent contre cette situation. Pour remédier à ces inconvénients, une conférence se réunit à Paris en 1864, mais la convention qui en résulta expira en 1871. En 1902, la Grande-Bretagne réussit à provoquer une nouvelle convention à Bruxelles, à laquelle adhérèrent l'Angleterre, la Suisse, la France, la Belgique, l'Autriche, la Russie, la Suède, etc... Un protocole de prorogation fut signé en 1912, mais la convention fut dénoncée peu après par la Grande-Bretagne, la France et l'Italie. La convention a cessé d'être en vigueur pour tous les États en 1920. Son but était d'égaliser la concurrence entre le sucre de betterave et le sucre de canne et d'aider au développement de la consommation sucrière, par la suppression des primes directes ou indirectes à la production et à l'exportation. Les États contractants s'engageaient à frapper de droits à l'importation les sucres primés dans les pays d'origine, tandis qu'ils admettaient à un taux réduit les sucres en provenance d'États ou de colonies qui ne faisaient pas bénéficier de primes leurs sucres indigènes.

Une commission permanente et un bureau international furent créés à Bruxelles, avec mission de constater si les États

contractants se conformaient correctement à leurs obligations et de constater également l'existence des primes dans les pays non contractants, en vue de l'application de surtaxes douanières. Cet organisme enfin devait fournir un avis sur les questions litigieuses.

Les résultats de l'union sucrière furent excellents, mais cette union perdit de son importance après le retrait de l'Angleterre et après la guerre mondiale survenue entre des pays autrefois exportateurs mais qui aujourd'hui n'exportent plus.

Union internationale pour l'adoption du système métrique. — Cette union fut créée par la convention de Paris en 1875. Un bureau international des poids et mesures fut créé à Paris. Les prototypes du mètre et du kilogramme sont déposés dans les locaux du bureau. Une conférence se réunit tous les six ans pour sanctionner les conventions métrologiques.

Unions internationales monétaires. — Des unions restreintes se sont formées au cours du XIXe siècle : union latine, union allemande et union scandinave. On n'est pas encore parvenu à une union générale.

Unions internationales pour la diffusion de certaines publications. — Dans les relations d'ordre économique, il importe de pouvoir s'informer rapidement sur les actes et les tendances du monde des affaires ainsi que sur les événements qui peuvent influencer le commerce international. Des arrangements concernant la publication et la diffusion, l'échange d'actes et de documents de toute nature ont été conclus et ont pris une grande importance. Ce sont, par exemple, les accords ci-dessous indiqués :

a) *Union internationale pour les échanges des documents officiels et des publications scientifiques et littéraires.* — Elle a été réalisée par une convention de Bruxelles. Les États contractants s'engagent à échanger les documents officiels et parlementaires et les ouvrages édités par les gouvernements. Dans chaque

État, un bureau dresse la liste de ces documents et correspond avec les bureaux étrangers, sans frais d'emballage ni de port, à l'exception des frais de transport par mer. Ces bureaux servent d'intermédiaires entre les corps savants pour l'envoi de leurs publications.

b) *Union internationale pour la publication des tarifs douaniers.* — Cette union a été créée entre de nombreux États, en 1890, par la convention de Bruxelles. Son but est de publier à frais communs et de faire connaître rapidement les tarifs douaniers et leurs modifications. Un bureau, organisé à Bruxelles, est chargé de la traduction des tarifs et de leur publication. Cette publication se fait par le moyen d'un bulletin international, qui paraît en allemand, anglais, espagnol, français et italien. Le bureau international reçoit communication de toutes les lois douanières, tarifs, circulaires, instructions, traités de commerce et conventions touchant aux régimes douaniers. Le bureau fait un rapport annuel sur ses travaux.

c) *Statistique commerciale et internationale.* — Cette statistique fait l'objet d'une convention de Bruxelles de 1913. Les États contractants ont établi une statistique internationale basée sur une nomenclature commune et groupant les marchandises exportées et importées, avec indication de leur valeur et de leur poids. Un bureau international est organisé à Bruxelles. Il réunit, coordonne et publie les renseignements fournis par les États contractants. Cet organe est rédigé en français. Les poids et valeurs sont indiqués conformément au système métrique. Un rapport annuel est rédigé sur les travaux et la gestion financière du bureau.

d) *Enregistrement et publication des traités internationaux.* — En 1894, la Confédération suisse convoqua à Berne une conférence diplomatique pour discuter cette question, mais cette conférence n'eut pas de suite. Le but poursuivi a été réalisé, dans une certaine mesure, par l'article 18 du pacte de la société des nations. Tout traité ou arrangement devra être enregistré par le secrétariat de la société et imprimé par lui. Le premier fascicule fut imprimé en 1920. Des extraits pourront être délivrés

par le secrétaire général aux États, tribunaux ou particuliers qui les demanderaient. Les textes sont traduits en français et en anglais. Les États non membres de la société des nations pourront faire enregistrer leurs traités ; c'est une obligation pour les membres de la société des nations, même quand ils ont négocié avec un État non participant. Cet enregistrement a pour but de supprimer les traités secrets qui peuvent menacer la paix mondiale et de répandre la connaissance de documents intéressant les États ou les particuliers.

Programme commercial et économique de la société des nations et unions internationales pour la simplification des formalités douanières. — La société des nations a dressé un vaste programme d'union commerciale et économique. Un premier pas a été fait par la conférence internationale de Genève, qui simplifie les formalités douanières entre les États contractants. Ceux-ci se sont engagés à ne pas entraver le commerce par des formalités inutiles et à observer le principe d'un traitement équitable pour ces formalités ainsi que pour la délivrance des licences, des autorisations, etc... Ils se sont interdit toute mesure dirigée contre un État en particulier et se sont engagés à adopter, aussitôt que possible, des mesures propres à réduire les prohibitions ou les restrictions d'importation ou d'exportation, à publier leurs règlements visant les formalités douanières.

Cette organisation doit permettre un recours administratif, judiciaire ou arbitral aux personnes victimes d'applications arbitraires ou vexatoires des règlements douaniers. L'envoi des échantillons et modèles doit être facilité par une admission en franchise provisoire dans chaque État, sous réserve, cependant, d'une consignation, remboursable rapidement lors de la réexportation. Les États se sont également engagés à simplifier les formalités de visite des bagages, dédouanement, entrepôt et magasinage.

Unions internationales se rapportant au trafic, au transit et aux moyens de communications. — Certaines des unions

relatives au trafic, au transit et aux moyens de communications tendent, comme les unions douanières, à atténuer les difficultés du commerce international. Elles poursuivent ainsi un but d'utilité publique. Elles ont une influence importante, tant au point de vue du commerce international qu'au point de vue financier des États. Ce sont, particulièrement, les unions relatives à la liberté du transit, aux ports maritimes, aux eaux intérieures navigables, aux voies ferrées et à la circulation automobile, à la navigation aérienne, aux services postaux, télégraphiques et téléphoniques, aux services radiotélégraphiques et radiotéléphoniques.

En connexité avec les buts de la société des nations et certaines dispositions des traités de paix, on s'est efforcé de développer les unions de communications et, notamment, celles qui ont pour objet d'assurer la liberté du transit.

Convention de Barcelone : liberté du transit. — C'est dans cet esprit qu'a été réunie la conférence de Barcelone en 1921. La convention qui en a résulté est relative à la liberté du transit. Son but est d'étendre à l'ensemble des voies navigables et des voies ferrées une notion qui, depuis cent ans, est admise pour la mer territoriale et les fleuves internationaux. La mer territoriale est grevée d'une servitude de passage ou de transit; de même les riverains supérieurs d'un fleuve international ont le droit de passer sur le cours inférieur.

La convention de Barcelone procède de ces idées générales. Quand un État a besoin, pour ses nécessités internationales, de traverser le territoire d'un autre État, celui-ci ne peut s'y opposer et doit donc permettre l'utilisation de ses voies de communication en tant que voies de transit. Mais la convention ne s'applique pas aux routes ni aux transports par air. Elle ne s'applique qu'aux fleuves et aux chemins de fer.

La convention dispose que les États contractants doivent faciliter le transit international et qu'il ne sera fait aucune distinction d'après la nationalité des navires ou celle des marchandises. C'est la consécration de la liberté des communications et de l'égalité de traitement entre les États.

La convention ajoute que les marchandises ne seront soumises à aucun impôt de transit sauf les taxes nécessaires pour couvrir les dépenses de surveillance ou d'organisation des voies de transit. Elle n'impose aucune obligation aux États contractants en ce qui concerne la création de voies nouvelles, l'amélioration ou l'entretien des voies existantes.

Convention de Genève : ports maritimes. — Un État ne pouvait, avant cette convention, refuser aux navires l'accès de ses ports d'une façon systématique, mais il pouvait déterminer les ports qui seraient ouverts au commerce international. La convention de Genève pose, en principe, que le trafic international est d'un intérêt général et qu'il doit conditionner l'exercice de la souveraineté locale.

La convention définit le port maritime : port fréquenté normalement par des navires de mer et servant au commerce extérieur. Ce n'est donc pas une situation géographique qui détermine le caractère de port maritime, mais une fonction économique.

Tout État contractant s'engage à assurer, aux navires d'un autre État contractant, le même régime que celui de ses propres navires et des navires de tout autre État spécialement privilégié, en ce qui concerne l'accès des ports et les facilités des opérations. C'est le principe de l'égalité du traitement par rapport au traitement national et à celui de la nation la plus favorisée.

Convention de Paris : navigation aérienne. — Cette convention résout la question préjudicielle de savoir si un État est souverain de la couche atmosphérique qui surplombe son territoire. Certains juristes répondaient affirmativement à cette question. D'autres enseignaient, au contraire, le principe de la liberté de l'air, sous réserve du droit, pour chaque État, de se défendre contre les abus.

La convention de Paris dit : « Les États contractants reconnaissent que chaque État a la souveraineté de l'espace

atmosphérique au-dessus de ses territoires et de ses mers territoriales. »

Mais elle ajoute que chaque État contractant s'engage à accorder, en temps de paix, la liberté du passage inoffensif aux aéronefs des autres États. Toutes les règles d'un État s'appliquent sans distinction de nationalité. Ces dispositions assurent donc la liberté de passage et l'égalité de traitement.

La convention ne vise que le temps de paix. En temps de guerre, les États reprennent un pouvoir discrétionnaire.

D'autre part, les règles applicables aux aéronefs nationales peuvent ne pas l'être aux aéronefs étrangères. Mais toutes celles-ci, sans distinction, sont soumises à un régime identique.

Cependant, l'égalité des aéronefs nationales et étrangères est réalisée quand il y a interdiction de survoler certaines zones pour des raisons d'ordre militaire ou de sécurité publique, par exemple. En ce cas, l'interdiction s'applique non seulement aux appareils étrangers, mais aussi aux appareils privés de l'État qui a formulé l'interdiction.

Peu de ratifications ont été données à la convention.

Union postale universelle. — La dernière convention postale a été signée à Madrid le 30 novembre 1920 (1). Cette convention s'applique à tous les objets de correspondance postale quelle qu'en soit la nature, dans les relations des pays contractants entre eux et dans les rapports de ces pays avec les pays étrangers à l'union, toutes les fois que les échanges empruntent les services de deux des parties contractantes au moins.

La liberté du transit est garantie dans le territoire entier de l'union, sous réserve du payement de frais de transit prévus par la convention elle-même. Ces frais diffèrent suivant qu'il s'agit de parcours territoriaux ou de parcours maritimes. Les

(1) A l'époque de la session de l'académie de droit international, le congrès postal était réuni à Stockholm en vue de l'élaboration d'une nouvelle convention.

taxes de transport des envois postaux sont fixées par la convention ainsi que les poids maxima des correspondances. Cette convention précise également les limites de la responsabilité en matière d'envois recommandés. Les taxes postales sont déterminées sur la base du franc d'or. En principe, chaque administration conserve en entier, sauf quelques exceptions, les sommes perçues en exécution de la convention.

Un bureau international fonctionne à Berne sous la haute surveillance de l'administration des postes suisse. Il est chargé de réunir, coordonner, publier et communiquer des renseignements de toute nature qui intéressent le service international des postes, de notifier les changements adoptés, de procéder aux études et aux travaux dont il serait saisi dans l'intérêt de l'union postale et, enfin, de formuler, à la demande des parties intéressées, un avis sur les questions litigieuses.

La convention prévoit une procédure arbitrale pour le règlement des dissentiments qui pourraient survenir entre membres de l'union. La faculté d'adhésion est réservée au profit des pays non adhérents.

La convention est complétée par des arrangements concernant l'échange des lettres et boîtes avec valeur déclarée, les abonnements aux journaux, les mandats-poste, les recouvrements, les virements postaux, les colis postaux.

Convention télégraphique internationale. — Cette convention a été signée à Saint-Pétersbourg, le 22 juillet 1875. Elle est complétée par un règlement d'exécution révisé périodiquement. La dernière révision porte la date du 11 juin 1908. La convention prévoit l'utilisation possible, pour la rédaction des télégrammes, du langage clair et du langage secret. Elle réserve la liberté du transit, sauf le droit pour chaque administration d'arrêter la transmission des télégrammes dangereux pour la sécurité de l'État ou contraires aux lois du pays, à l'ordre public ou aux bonnes mœurs. Elle fixe les conditions de détermination des taxes internationales et les conditions de partage de ces taxes. Un bureau international est institué

à Berne. Il est chargé de réunir, coordonner et publier les renseignements de toute nature relatifs à la télégraphie internationale, de procéder à toutes les études et à tous les travaux dont il serait saisi dans l'intérêt de la télégraphie internationale. La faculté d'adhésion est réservée au profit des États non adhérents.

Convention radiotélégraphique internationale. — La convention actuellement en vigueur a été signée à Londres le 5 juillet 1912. Elle ne concerne que les communications échangées entre les stations côtières et les stations de bord, pour les relations entre la terre et les navires en mer. Le bureau international de l'union télégraphique joue le rôle d'office international pour la radiotélégraphie. La faculté d'adhésion est réservée au profit des États non contractants. La convention prévoit la procédure arbitrale pour le règlement des litiges.

*
* *

Ainsi les rapports juridiques qu'a rendus nécessaires le développement économique et social de la vie des peuples sont aujourd'hui extrêmement nombreux ; ils se réfèrent aux ordres les plus divers de l'activité humaine. Ils constituent, par dessus les droits nationaux, un droit international dont la complexité ira sans cesse croissant en raison même du développement indéfini que sont appelées à prendre les relations entre États. De moins en moins il sera possible aux États de s'isoler, et il faudra, pour préciser les droits et les obligations de chacun, édicter des règles communes. Des liens se noueront, de plus en plus serrés, entre les différentes nations, de même que sont devenues de plus en plus compréhensives les législations internes. Non seulement se développera et se précisera le droit international, mais se dégagera peu à peu, comme conséquence, la nécessité de recourir, pour résoudre les difficultés nées de l'interprétation d'accords particuliers, à des solutions pacifiques en soumettant ces différends soit à

la cour permanente de justice internationale, soit à des procédures arbitrales.

Progressivement s'élabore une doctrine des accords internationaux. Il ne fait pas de doute que les enseignements donnés à la Haye par des professeurs venus de tous les points du monde à des auditeurs avertis appartenant aussi à toutes les nationalités, contribueront puissamment à la formation de cette doctrine. Des échanges de vues auxquels il est procédé à l'académie de droit international se dégageront certaines idées essentielles que maîtres et auditeurs rapporteront dans leurs pays d'origine pour les répandre autour d'eux ou les utiliser à l'occasion des actes de leurs fonctions.

LA RÉCEPTION, EN TUNISIE, DES ÉMISSIONS RADIOTÉLÉPHONIQUES DE L'ÉCOLE SUPÉRIEURE DES P. T. T.,

Par E. CROUZET,

Inspecteur des Postes et Télégraphes,
chef des services électriques de l'Office tunisien.

Il peut être intéressant de connaître dans quelles conditions les émissions sous 500 watts du poste radiotéléphonique de l'École supérieure sont reçues dans les environs immédiats de Tunis, soit, à vol d'oiseau, à plus de 1.500 kilomètres de Paris.

La réception est très forte et très nette dans la vallée de l'oued Miliane, au bord du golfe de Tunis, sur une antenne unifilaire d'environ 40 mètres, avec seulement deux lampes T M ordinaires. Le montage n'a rien de particulièrement ingénieux : une détectrice à réaction, une basse fréquence. L'antenne, en particulier, dont le schéma est donné sur la figure 1, est d'une grande simplicité et d'un prix de revient minime. Le toron unifilaire, à quatre brins de 3/10, qui la constitue, pèse au total 150 grammes ; son faible poids a permis l'utilisation de supports très légers ; quatre petits morceaux d'ébonite découpés en fémur, de la ficelle à fouet cirée pour la fixation, c'est tout ce qu'a nécessité cet organe essentiel d'une bonne réception.

Quant à la terre, elle est reliée à une canalisation d'eau qui passe dans le poste même et qui, circonstance favorable, descend dans le sous-sol au dessous d'une nappe d'eau saumâtre.

La même installation, réalisée au centre de la ville au milieu des fils d'énergie et du réseau téléphonique aérien, avec une terre influencée par des courants vagabonds de toute sorte, n'a, par contre, donné aucun résultat satisfaisant.

Les deux lampes fonctionnent, pour la réception du poste

de l'École supérieure, sous $3^{V},8$ au filament avec 56 volts dans le circuit de plaque.

Les selfs L_1, L_2, L_3 (fig. 2) sont des fonds de panier de 12 centimètres de diamètre moyen (bobinés avec du fil de 6/10

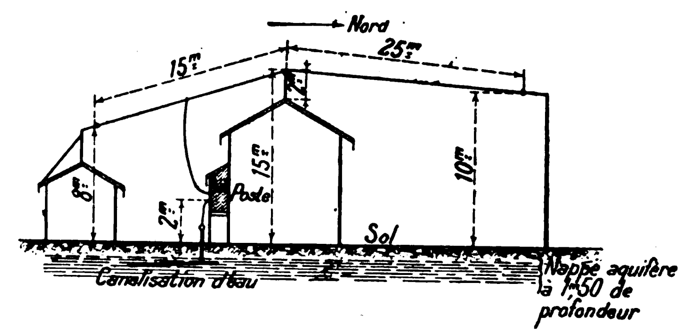


Fig. 1. — Disposition de l'antenne et de la prise de terre.

sous laine et coton) ayant respectivement 20, 24 et 36 tours. Posées parallèlement à plat sur trois planchettes horizontales à

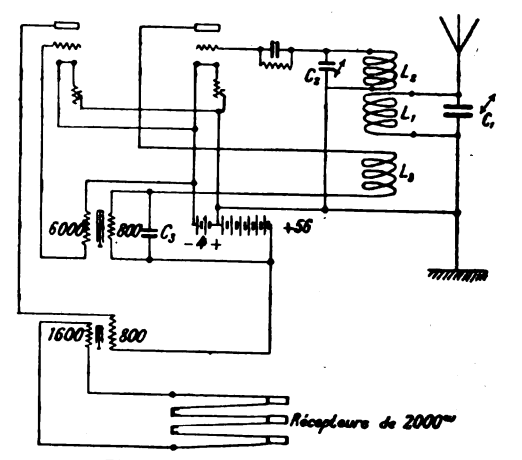


Fig. 2. — Schéma du montage.

intervalles de 20 millimètres, l'accouplement est assez lâche avec L_1 et L_2, plus serré entre L_2 et L_3.

Les condensateurs à air C_1, C_2, C_3 sont à faible capacité ($0^{\mu F},3$ au maximum, dont à peine le tiers est utilisé dans la réception précitée). Le condensateur C_3, qui habituellement est fixe, sert à parfaire le réglage ; son jeu évite souvent des défor-

mations. Les transformateurs de basse fréquence, à très grand nombre de tours, sont du modèle des postes militaires à fer feuilleté et blindés.

Trois récepteurs en série, du modèle Sulivan, de 2.000 ohms, dont un près du poste de réception pour suivre les réglages et les deux autres mobiles avec prises dans la salle à manger ou le salon, donnent entière satisfaction avec un montage en série.

Cette installation permet de recevoir un nombre considérable de postes télégraphiques et téléphoniques. Dans la nuit du 31 décembre 1924, elle a permis de capter (en changeant les selfs, bien entendu) le concert de gala de la tour Eiffel sans en perdre une syllabe, ce qui montre que l'antenne unifilaire de 40 mètres est suffisante à cette distance, même pour les grandes longueurs d'onde. Tout récemment encore, plusieurs auditions de l'École supérieure ont été des modèles d'émission pure, qu'aucun effet de fading n'a troublé. En général, ce phénomène d'affaiblissement n'est constaté ici que lorsqu'un autre poste plus proche émet sur une onde assez voisine ; il resterait à déterminer de quelle façon se produit, dans ce cas, la déperdition d'énergie captée dans le poste récepteur.

Pour les réglages de réception, il n'est pas indispensable de disposer d'un ondemètre. Rome, qui émet à 20h 30 sur 400 mètres, et un poste allemand indéterminé mais assez fortement perçu à Tunis à la même heure que l'École supérieure, permettent d'encadrer très exactement le poste français un peu au dessous du poste allemand et très au dessus du poste italien.

En résumé, il résulte des essais effectués avec l'installation qui vient d'être décrite qu'un poste ordinaire à deux lampes suffit pour assurer de nuit une réception correcte de l'École des P. T. T. à plus de 1.500 kilomètres de distance, mais à la condition de disposer d'une antenne simple et bien dégagée, d'une terre excellente très voisine du poste, et de n'être gêné par aucune ligne électrique voisine.

LA POSTE, LE TÉLÉGRAPHE, LE TÉLÉPHONE A MADAGASCAR.

Le gouvernement général de Madagascar vient de faire éditer sous ce titre, par l'imprimerie officielle de Tananarive, une brochure de 50 pages de texte complétées par 14 graphiques ou cartes hors texte et 19 photographies tirées également hors texte.

Nous donnons ici un résumé de cette très intéressante brochure (1).

Poste.

L'île de Madagascar posséda, dès l'année 1790, sous le roi Andrianampoinimerina, un corps de messagers royaux professionnels, et ce corps était si fortement organisé, que le trajet des messages de Tananarive à Fianarantsoa (360 kilomètres) était effectué en 65 heures, dans un pays où n'existaient que des pistes. Mais cette institution était fermée à la correspondance privée, comme l'étaient d'ailleurs les institutions similaires dans l'ancienne France.

La France et l'Angleterre instituèrent d'abord, à l'usage de leurs nationaux, un service périodique de courriers entre Tananarive et la côte. Après le traité du 17 décembre 1885 établissant le protectorat de la France sur Madagascar, le gouvernement français développa considérablement son service postal et, à partir de 1890, la poste anglaise cessa de fonctionner concurremment avec la nôtre. En 1892, le service des mandats-poste fut introduit à Madagascar.

Les services postaux commerciaux furent à peu près interrompus pendant l'expédition militaire de 1895. La poste

(1) Résumé rédigé par E. Reynaud-Bonin, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes.

servit surtout aux besoins du corps expéditionnaire et aux troupes d'occupation; mais, au fur et à mesure de la pacification et de la reprise des affaires, il fallut reprendre et développer l'organisation laissée en suspens en 1895. Dès le premier semestre de 1896, l'administration civile se remit à l'œuvre : elle rouvrit tous les bureaux situés sur la ligne d'étapes, puis en 1897 ceux de Fianarantsoa et de Mananjary, puis rapidement beaucoup d'autres bureaux.

Au 31 décembre 1924, la colonie comptait :

35 bureaux de plein exercice,
152 bureaux secondaires,
415 bureaux de distribution rurale.

Situés dans tous les centres importants de la colonie et notamment aux chefs-lieux de province, les *bureaux de plein exercice* effectuent les opérations suivantes :

télégraphie officielle et privée ;
objets recommandés ;
lettres et boîtes avec valeur déclarée ;
colis postaux ordinaires et avec valeur déclarée, de 5 ou 10 kilos, suivant que les bureaux sont desservis par porteurs ou par chemin de fer, voiture automobile, chaloupe et charrette ;
colis postaux contre remboursement ;
recouvrements du régime intérieur, franco-colonial et intercolonial ;
envois contre remboursement dans le régime intérieur ;
mandats postaux et télégraphiques du service intérieur ;
mandats postaux et télégraphiques du service métropolitain ;
mandats postaux internationaux par l'intermédiaire de la métropole.

Fonctionnant dans des centres de moindre importance, les *bureaux secondaires* sont fermés aux opérations suivantes :

lettres et boîtes avec valeur déclarée (sauf dérogation pour certains bureaux auxiliaires importants) ;
colis postaux contre remboursement ;
recouvrements ;

envois contre remboursement;

mandats télégraphiques avec la métropole et mandats internationaux.

Dans quelques bureaux auxiliaires n'émettant pas encore de mandats du régime métropolitain, le public a la possibilité d'effectuer ses envois de fonds à destination de la métropole au moyen de mandats de conversion.

Institués par arrêté en date du 5 février 1915, les *bureaux de distribution rurale* sont surtout destinés aux agglomérations indigènes. Gérés par des chefs de canton, ils assurent simplement la vente des timbres-poste, l'expédition et la distribution des correspondances ordinaires.

Trafic postal. — Pendant l'année 1923, les établissements postaux de la colonie ont assuré l'échange de 5.087.737 objets divers de correspondance, se répartissant comme il suit :

lettres ordinaires	3.625.670
imprimés	395.850
papiers d'affaires	22.950
échantillons	118.100
correspondances militaires	6.400
plis administratifs	240.130
envois recommandés	653.383
lettres ou boites avec valeur déclarée (72.797.828 fr. 55)	22.249

Chèques postaux. — Le service des chèques postaux, récemment créé en France, a aussi été introduit à Madagascar. Un décret, promulgué le 13 février 1923, a ouvert un bureau de chèques à Tananarive. Les résultats déjà obtenus sont intéressants.

Caisse d'épargne. — La première caisse d'épargne malgache avait été créée à Diégo-Suarez le 2 octobre 1892; mais elle n'eut pas beaucoup de succès et dut être dissoute.

L'indigène préférait thésauriser. La prospérité que la guerre de 1914-1918 a créée à Madagascar ne diminua pas la manie de la thésaurisation. Cependant, depuis le 1er janvier 1920, on a essayé de réagir en ouvrant une caisse d'épargne de

Madagascar. Au 31 décembre 1923, les sommes confiées à la caisse des dépôts et consignations pour le compte des déposants atteignent près de trois millions de francs.

La caisse d'épargne comprend neuf sections, et de plus les bureaux de poste de plein exercice sont ouverts au service restreint de la caisse d'épargne.

Télégraphe.

Le premier fil télégraphique de l'île fut posé le 15 septembre 1887 entre Tamatave et Tananarive ; ce fil fut doublé en février 1897.

Un câble sous-marin posé en 1895 entre Majunga et Mozambique a relié l'île à la terre ferme et au réseau télégraphique mondial. Il fut évidemment posé dans l'île un fil télégraphique entre Majunga et Tananarive.

On peut suivre le développement du télégraphe à Madagascar en comparant les deux cartes ci-jointes qui résument le développement des réseaux télégraphiques en 1903 et en 1923.

Il existe 7.926 kilomètres de lignes télégraphiques et 11.366 kilomètres de conducteurs.

Les cartes donnent également des indications précieuses sur les réseaux de télégraphie optique et de radiotélégraphie. La télégraphie optique diminue d'importance après avoir eu une période d'épanouissement. La radiotélégraphie dispose des sept postes suivants :

Diego-Suarez : HYD, 8^{kW} ; onde principale de 600 mètres ; portée de 325 milles le jour et 600 milles la nuit,

Nossi Bé : HYJ, trafic avec Diego-Suarez.

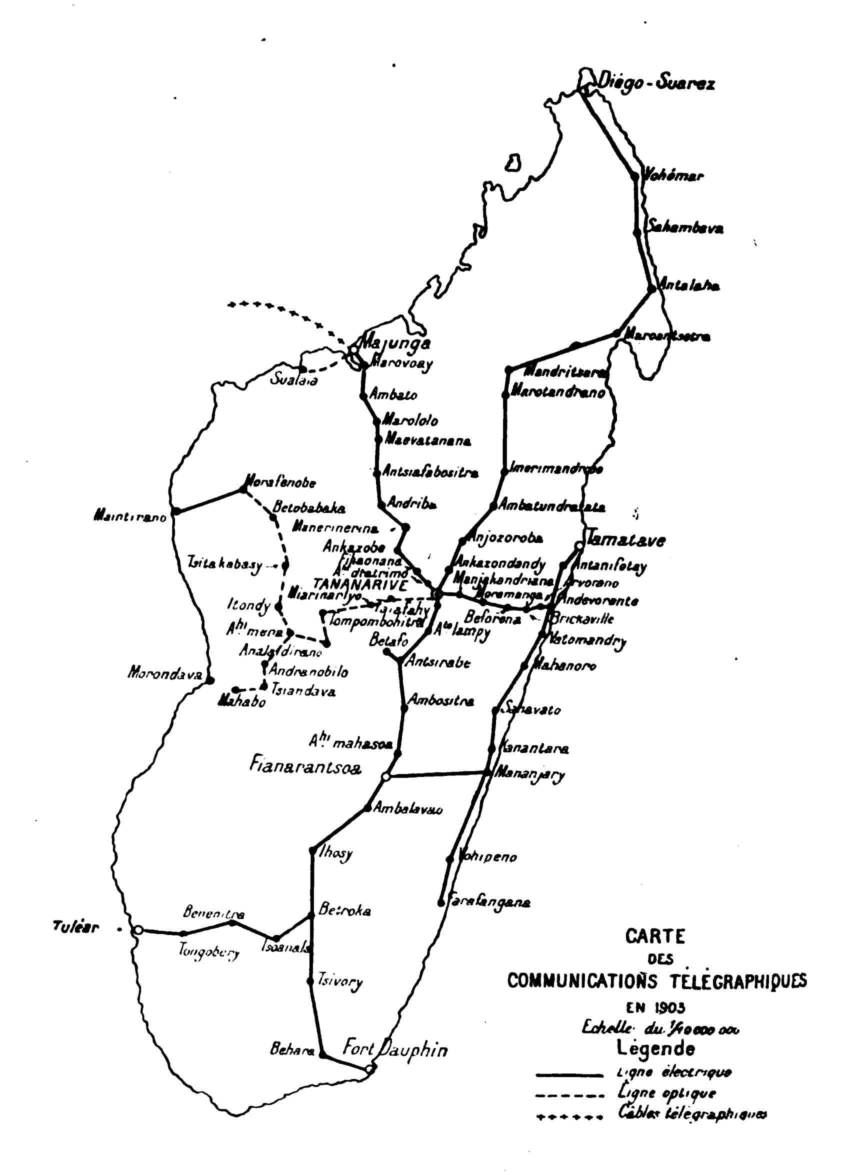
Majunga : HYE, 5^{kW} ; onde principale de 600 mètres,

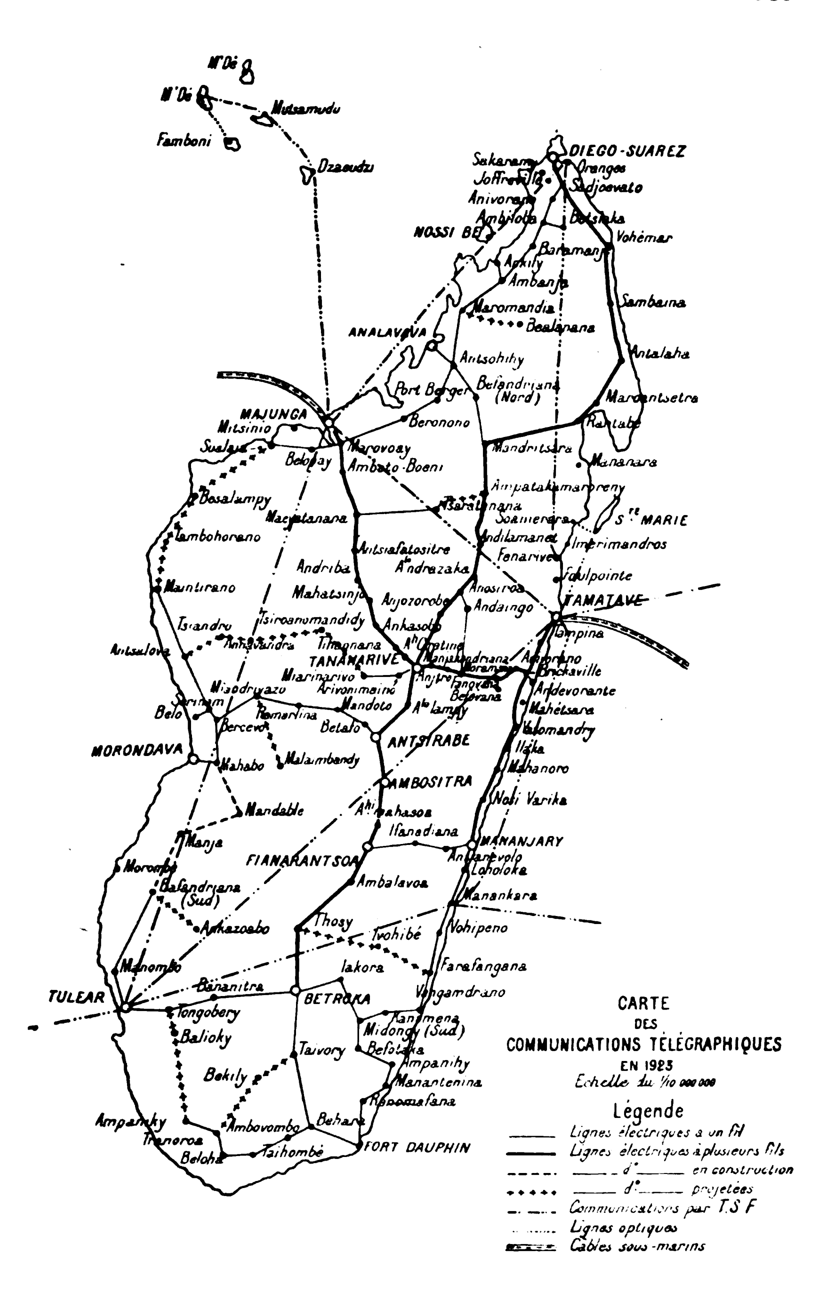
Dzaoudzi (Mayotte) : HYH, identique au précédent,

Mutsamudu (Anjouan) : HYG, 5^{kW} ; onde principale de 600 mètres,

M'Dé (Grande Comore) : HYI. 1^{kW} ; onde principale de 600 mètres,

Sainte-Marie.


Diégo-Suarez
Vohémar
Sahambava
Antalaha
Maroantsetra
Majunga
Marovoay
Sualala
Ambato
Marololo
Maevatanana
Antsiafabositra
Andriba
Mandritsara
Marotandrano
Imerimandroso
Ambatondrazaka
Anjozorobe
Tamatave
Maintirano
Morafenobe
Betobabaka
Manerinerina
Ankazobe
Ankazondandy
Antanifotsy
Manjakandriana
Vavorano
TANANARIVE
Moramanga
Andevorante
Tsitakabasy
Itondy
Miarinarivo
Beforona
Brickaville
Vatomandry
Betafo
Antsirabe
Mahanoro
Analabdirano
Andranobilo
Tsiandava
Morondava
Mahabo
Ambositra
Fianarantsoa
Mahasoa
Kanantara
Mananjary
Ambalavao
Ihosy
Vohipeno
Farafangana
Tuléar
Benenitra
Betroka
Tongobory
Isoanala
Tsivory
Behara
Fort Dauphin
CARTE
DES
COMMUNICATIONS TÉLÉGRAPHIQUES
EN 1903
Légende
Ligne électrique
Ligne optique
Câbles télégraphiques


CARTE
DES
COMMUNICATIONS TÉLÉGRAPHIQUES
EN 1923
Echelle du 1/10 000 000
Légende
Lignes électriques à un fil
Lignes électriques à plusieurs fils
d° en construction
d° projetées
Communications par T.S.F
Lignes optiques
Câbles sous-marins
DIEGO-SUAREZ
Oranges
Sadjoavato
Sakaramy
Anivorano
NOSSI BE
Vohémar
Sambava
Antalaha
Maroantsetra
Ambanja
Maromandia
Bealanana
ANALAVAVA
Antsohihy
Port Berger
Befandriana (Nord)
MAJUNGA
Mitsinio
Beronono
Marovoay
Ambato-Boeni
Mandritsara
Mananara
Soanierana
Ste MARIE
Imerimandroso
Fenarive
Foulpointe
TAMATAVE
Andilamena
Ampatakamaroreny
Andriba
Antsiafabositra
Andrazaka
Mahatsinjo
Anjozorobe
Anosibe
Andaingo
Anhasobe
Maevatanana
Besalampy
Tambohorano
Maintirano
Tsiroanomandidy
Isandra
Antsalova
Tsinjoarivo
TANANARIVE
Miarinarivo
Arivonimamo
Miandrivazo
Mandoto
Betafo
Belo
Morondava
MORONDAVA
Mahabo
Malaimbandy
Mandabe
ANTSIRABE
AMBOSITRA
Ifanadiana
FIANARANTSOA
Ambalavao
MANANJARY
Mahanoro
Nosy Varika
Mahela
Vatomandry
Andevorante
Brickaville
Manankara
Vohipeno
Farafangana
Vangaindrano
Ivohibé
Iakora
Ihosy
BETROKA
Midongy (Sud)
Befotaka
Ampanihy
Manantenina
Ranomafana
Behara
FORT DAUPHIN
Taihombé
Ambovombe
Beloha
Tsihombe
Bekily
Tsivory
Ampanihy
Tongobory
Benenitra
Manombo
TULEAR
Ankazoabo
Befandriana (Sud)
Morombe
Manja
Mutsamudu
Dzaoudzi
Famboni

On construit d'autres grands postes de T.S.F. à Tuléar (15^{kW}) et à Tamatave (15^{kW}) pour les besoins locaux de la colonie.

L'auteur, s'attachant exclusivement à la description des communications dans l'île, n'a pas cité le grand poste radio-télégraphique du réseau intercolonial français qui vient d'être ouvert à Tananarive pour communiquer avec Bamako (Afrique occidentale française), avec Brazzaville (A.E.F.), avec Djibouti (Somalie française) et avec Saïgon (Indo-Chine).

L'exploitation de cette station relève directement de l'administration métropolitaine à Paris et non pas de la direction des postes et télégraphes à Madagascar.

Téléphone.

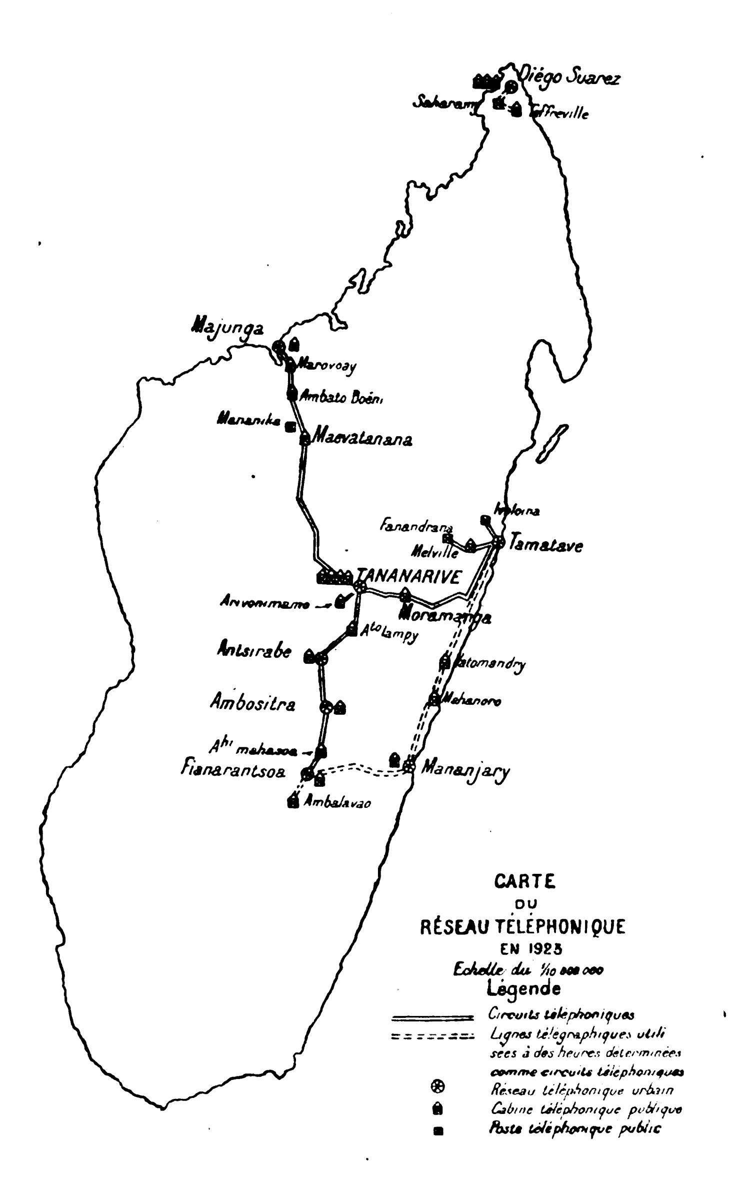
Le réseau téléphonique de Tananarive date de 1896. Il fut d'abord réservé au service officiel, puis ouvert vers 1900 à la téléphonie commerciale et remanié pour les besoins de son extension. A l'heure actuelle, Tananarive possède un réseau téléphonique aéro-souterrain où l'on monte un multiple à batterie centrale pour 600 abonnés.

Tamatave eut un réseau téléphonique dès 1898; Majunga, en 1903.

Le premier circuit téléphonique interurbain malgache fut posé en 1909 entre Tananarive et Tamatave, et quelques lignes télégraphiques à simple fil étaient mises chaque jour, à des heures déterminées, à Majunga, Fianarantsoa, Mananjary, à la disposition des abonnés au téléphone.

L'importance du trafic était telle que l'établissement de circuits devint absolument nécessaire. Des crédits spéciaux ayant été alloués au service des postes et télégraphes, deux circuits téléphoniques reliant la capitale à Majunga et à Fianarantsoa purent être installés. Les travaux furent terminés en septembre 1922.

D'autre part, la construction d'un réseau téléphonique urbain à Antsirabé et Fianarantsoa était menée de front avec


Diégo Suarez
Majunga
Marovoay
Ambato Boéni
Maevatanana
Fanandrana
Melville
Tamatave
TANANARIVE
Moramanga
Antsirabe
Mahanoro
Ambositra
Fianarantsoa
Mananjary
Ambalavao
CARTE
DU
RÉSEAU TÉLÉPHONIQUE
EN 1925
Échelle du 1/10 000 000
Légende
Circuits téléphoniques
Lignes télégraphiques utilisées à des heures déterminées comme circuits téléphoniques
Réseau téléphonique urbain
Cabine téléphonique publique
Poste téléphonique public

la pose du circuit Tananarive-Fianarantsoa, et ces deux réseaux étaient ouverts à l'exploitation publique en janvier 1923.

En décembre 1923, Ambositra était à son tour doté d'un réseau téléphonique urbain, comme Mananjary vient de l'être le 1er décembre 1924.

Localités pourvues d'une cabine téléphonique. — Les localités suivantes, desservies par un circuit téléphonique ou par une ligne télégraphique utilisée comme circuit, sont actuellement dotées d'une cabine ou d'un poste téléphonique publics: Tananarive, Maevatanana, Mananika, Ambato-Boéni, Marovoay, Majunga, Ambatolampy, Arivonimamo, Antsirabé, Ambositra, Ambohimahasoa, Fianarantsoa, Ambalavao, Mananjary, Mahanoro, Vatomandry, Tamatave, Melville, Fanandrana, Ivoloina, Moramanga, Diégo-Suarez, Sakaramy, Joffreville, Orangéa, Cap Diégo.

Longueur et développement des lignes et circuits interurbains. — La longueur des lignes et circuits téléphoniques interurbains est actuellement de 1.198 kilomètres, représentant 2.373 kilomètres de fils.

Longueur et développement des circuits dans les réseaux téléphoniques urbains	Tananarive	Tamatave	Majunga	Diego-Suarez
Longueur (en kilomètres) des lignes aériennes ou souterraines en service.	102	68	53	83
Développement (en kilomètres) des lignes en service................	850	203	184	199

Taxes téléphoniques. — Actuellement, c'est l'arrêté du 30 novembre 1920 qui régit le service téléphonique.

L'unité de durée de conversation est fixée à 3 minutes, et une communication ne peut excéder deux unités consécutives lorsque d'autres demandes sont en instance sur les lignes à utiliser.

Les abonnés peuvent correspondre gratuitement à partir de leur poste avec tous les abonnés de leur réseau.

Les personnes non abonnés peuvent, moyennant une redevance fixée à 50 centimes par unité de conversation, correspondre à partir d'une cabine téléphonique publique avec tous les abonnés du même réseau ou avec une autre cabine publique située dans l'enceinte de ce réseau.

Les abonnés et les personnes non abonnées peuvent correspondre, moyennant une redevance fixée à 1 franc par unité de conversation, avec les cabines téléphoniques publiques situées en dehors de l'enceinte de la localité centre du réseau, mais faisant partie de ce réseau.

La taxe des avis d'appel téléphonique est fixée à :

50 centimes pour les avis d'appel échangés dans les limites de l'enceinte de la localité centre d'un réssau;

80 centimes pour les avis d'appel échangés hors de ces limites, mais dans un même réseau.

Le tarif des messages téléphonés est ainsi fixé :

1° dans les limites de l'enceinte de la localité centre du réseau : d'un poste d'abonné : 40 centimes par cinq minutes de communication; d'une cabine téléphonique publique : 60 centimes par cinq minutes de communication ;

2° hors de ces limites, mais entre postes appartenant au même réseau : d'un poste d'abonné : 80 centimes par cinq minutes de communication ; d'une cabine téléphonique publique : 1f,20 par cinq minutes de communication.

Les messages téléphonés avec réponse payée sont admis ; ils acquittent une taxe double de celles qui sont indiquées ci-dessus.

*
* *

Soucieuse des besoins de sa clientèle et pénétrée du rôle de prévoyance et d'initiative qu'elle doit jouer, l'administration locale des postes et télégraphes s'est constamment efforcée jusqu'ici, dans la limite des moyens financiers dont elle dispose, de seconder et de favoriser, par le développement de son

outillage et l'amélioration de ses méthodes d'exploitation, le mouvement industriel et commercial du pays. Le perfectionnement de ses rouages, l'extension de ses moyens d'action seront inlassablement poursuivis, dans le constant souci de mettre à la disposition du public un instrument tous les jours mieux au point.

Si les opérations de ce service, prises dans leur ensemble, sont bien, comme on l'a dit, le baromètre des transactions commerciales, on peut avancer que la situation économique de l'île n'a jamais été plus prospère : de

71 millions 570.000 francs en 1903,
83 millions 291.000 francs en 1913,
254 millions 746.000 francs en 1922,

le mouvement général des fonds du service des postes et télégraphes atteint, en 1923, 412 millions 488.000 francs.

On peut pronostiquer pour 1924 un chiffre très voisin du milliard, le mouvement des fonds pour la période du 1er juillet au 31 octobre 1924 s'élevant à 754.200.000 francs.

LA TÉLÉGRAPHIE SOUS-MARINE RAPIDE,

Par K.-W. WAGNER.

(*suite.*)

III. Cables télégraphiques Krarup.

14. Historique. — La distorsion et l'affaiblissement considérables des signaux télégraphiques sur les longs câbles résultent de l'influence prépondérante de la résistance et de la capacité. D'après Heaviside (1) et Pupin (2), on peut diminuer l'affaiblissement et la distorsion en augmentant artificiellement l'inductance de la ligne. Il existe deux procédés permettant d'atteindre ce but : 1° on peut intercaler sur la ligne des bobines d'inductance régulièrement espacées (*pupinisation*); 2° on peut enrouler autour du conducteur une gaine formée d'une substance magnétique, dans le but d'accroître uniformément l'inductance (*krarupisation*) (3). Les deux procédés ont été employés avec succès en téléphonie (4). Les câbles téléphoniques krarupisés sont surtout utilisés en téléphonie sous-marine. A ce propos, l'Allemagne est très en avance sur les autres pays; les 6.900 kilomètres de câbles Krarup qu'elle possède dans la mer du Nord et la mer Baltique constituent le plus grand réseau de câbles sous-marins krarupisés du monde entier.

En télégraphie sur câble, on a essayé de réaliser des améliorations par l'emploi de câbles Krarup bien avant qu'on n'ait tenté de le faire en téléphonie (5). Mais les tentatives demeu-

---

(1) O. Heaviside, *Eleckomagnetic theory*, vol. I et II, Londres, 1893 et 1899.

(2) M. I. Pupin, *Transactions of the Am. Inst. of Electr. Engin.*, vol. 17, 1901, p. 445.

(3) C. E. Krarup, *E.T.Z.*, 1902, p. 344.

(4) Voy. la brochure *Das Fernsprechen im Weitverkehr*, éditée par le ministère des postes d'Allemagne (1923), chez Ernst u. Sohn, Berlin.

(5) Voy. F. Breisig, *E.T.Z.*, 1899, p. 842.

rèrent infructueuses, en partie parce que les câbles étaient défectueux dans leur construction, et surtout parce que les essais portaient sur des longueurs de câble relativement courtes; on sait qu'en pareil cas la krarupisation ne présente aucun avantage. Voici comment on peut expliquer le fait qu'on n'ait pas pensé plus tôt à construire de câbles du type Krarup : 1° la télégraphie sous-marine n'avait pas de concurrente; c'était une entreprise de bon rapport et on n'avait nul besoin d'innovations révolutionnaires; 2° (et c'est la raison principale) on n'avait pu réaliser, sur un long câble krarupisé, une vitesse d'enregistrement des signaux télégraphiques aussi grande que possible, parce qu'on ne disposait d'aucun appareil récepteur capable de reproduire les signaux transmis avec une intensité comprise entre 5 et 20 microampères, à des fréquences variant entre 50 et 100 impulsions de courant par seconde. Seuls, les tubes à vide ont permis la construction d'appareils de réception répondant à ces desiderata; c'est grâce à eux que les câbles krarupisés ont pris une grande importance en télégraphie sous-marine [1].

15. Théorie complète du câble télégraphique. — L'influence de l'inductance sur la propagation des courants transmis sur de longs câbles ressort des équations différentielles complètes se rapportant à la ligne :

$$\left.\begin{aligned} -\frac{\partial U_x}{\partial x} &= R\, I_x + L\frac{\partial I_x}{\partial t}, \\ -\frac{\partial I_x}{\partial x} &= G\, U_x + C\frac{\partial U_x}{\partial t}. \end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

Dans ces formules, figure (outre l'inductance L exprimée en henrys par kilomètre), la perditance G, exprimée en mhos par kilomètre. Dans le cas de câbles sous-marins isolés à la gutta-

(1) L'accroissement de l'inductance produit par les bobines Pupin aurait ouvert de nouvelles perspectives en télégraphie rapide sur câbles sous-marins; mais les difficultés rencontrées, lors de la pose et de l'entretien des câbles pupinisés reposant à de grandes profondeurs, sont vraiment insurmontables.

percha, G représente principalement l'influence des pertes diélectriques; elle est donnée par la formule :

$$G = \omega C \operatorname{tg} \delta, \qquad (13)$$

où ω représente la pulsation moyenne et δ l'angle de perte diélectrique.

En examinant de près les formules (12), on voit que les variations de l'intensité et de la tension se propagent le long de la ligne à une vitesse qu'on peut exprimer finalement par la formule :

$$w = \frac{1}{\sqrt{LC}}. \qquad (14)$$

C'est seulement après un temps $t = \frac{x}{w}$ que l'application d'une tension E au commencement de la ligne devient sensible en un point situé à la distance x de l'extrémité transmettrice. Pour bien comprendre comment le courant se propage ensuite, il convient d'introduire les caractéristiques suivantes :

l'impédance : $Z = \sqrt{\frac{L}{C}}$; (15)

la constante de longueur d'onde : $\lambda = \frac{R}{2Z} - \frac{GZ}{2}$; (16)

la constante d'affaiblissement : $\beta = \frac{R}{2Z} + \frac{GZ}{2}$; (17)

la longueur électrique correspondant à la longueur x de la ligne : $X = \lambda x$; (18)

le coefficient d'affaiblissement de la longueur x de la ligne :

$$b = \beta x; \qquad (19)$$

le temps électrique correspondant au temps t :

$$T = \lambda w t. \qquad (20)$$

Dans le cas où, sur une ligne jusque là sans courant ni tension et de longueur infinie, on applique, à l'instant $t = 0$, une tension E qui demeurera constante dans la suite, on obtient, par intégration de la formule (12), la valeur de l'intensité du courant en un point x de la ligne, et l'on voit :

A) que, jusqu'à l'instant $T = X$, le courant reste nul :

B) qu'à l'instant $T = X$ arrive le front de l'onde ; l'intensité du courant passe brusquement de la valeur zéro à la valeur :

$$I_0 = \frac{E}{Z} e^{-\frac{\beta}{\lambda} X} = \frac{E}{Z} e^{-b} ; \qquad (21)$$

C) qu'ensuite le courant sera donné par la formule :

$$I = \frac{E}{Z} \Big[e^{-\frac{\beta}{\lambda} T} J_0 \left(\sqrt{X^2 - T^2} \right) +$$
$$+ \frac{\beta - \lambda}{\lambda} \int_0^{T-X} d\tau \, e^{-\frac{\beta}{\lambda} T - \tau} J_0 \left(\sqrt{X^2 - (T - \tau)^2} \right) \Big] ; \qquad (22)$$

dans cette expression, J_0 représente la fonction de Bessel de la première catégorie de rang zéro ; pour les arguments purement imaginaires auxquels on a affaire ici, elle croît très uniformément.

D'ordinaire, la perditance G est si petite, que le second terme des formules (16) et (17) n'est qu'une infime fraction du premier terme contenant R, et l'on peut négliger le second terme de la formule (22). Il vient alors :

$$I = \frac{E}{Z} e^{-T} J_0 \left(\sqrt{X^2 - T^2} \right) \qquad (22a)$$

Les formules (22) et (22*a*) sont applicables à un câble illimité d'un côté. A l'extrémité réceptrice d'un câble de longueur finie *l* correspondant à la longueur électrique

$$\Lambda = \lambda \, l, \qquad (23)$$

l'onde est réfléchie [1]. Si l'impédance du dispositif terminal est faible par rapport à l'impédance de la ligne, la réflexion est totale, c'est-à-dire que l'intensité du courant est doublée. Les expressions (22) et (22 *a*), corrigées à l'aide du facteur 2, ne conviennent donc *a priori* que jusqu'à l'instant $T = 3\Lambda$, instant auquel l'onde réfléchie revient à l'extrémité réceptrice après sa deuxième réflexion à l'extrémité transmettrice : sur les câbles de grande longueur, dont l'affaiblissement est important, elle est alors devenue si faible qu'elle n'est plus perceptible.

(1) *E.T.Z.*, 1910, p. 163 et 192.

16. Influence de l'inductance sur l'accroissement de l'intensité finale du courant. — La figure 18 représente l'accroissement de l'intensité du courant à l'extrémité des câbles qui sont chargés d'une inductance plus ou moins grande. Les courbes

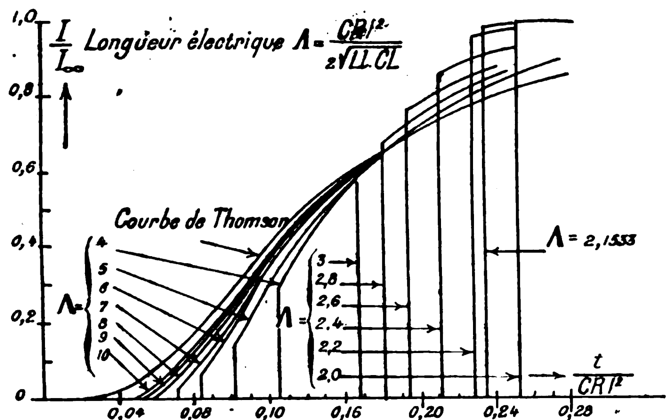


Fig. 18. — Accroissement de l'intensité finale du courant sur différents câbles à forte charge inductive. L'extrémité du câble est mise à la terre.

ont été tracées en partant de l'équation (22 *a*). Suivant les longueurs électriques, on a différentes valeurs pour l'inductance :

$$\Lambda = \lambda l = \frac{Rl}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} = \frac{RCl^2}{2\sqrt{Ll \times Cl}}. \qquad (23a)$$

Lorsque l'inductance augmente, Λ diminue. En abscisses, on a porté la grandeur utilisée plus haut sous le nom de temps électrique :

$$\tau = \frac{t}{CRl^2} = \frac{T}{2\Lambda^2}.$$

Avec des courbes d'arrivée du genre des courbes d'intensité obtenues pour des valeurs de Λ égales à 2, à 3 et même à 5, on pourrait télégraphier aussi vite qu'on le voudrait et aussi téléphoner. Mais, pour atteindre ces valeurs sur de longs câbles transocéaniques, il faudrait une inductance plus grande que celle qui est pratiquement réalisable. Pour de fortes valeurs (à partir de Λ = 10), la courbe se rapproche de plus en plus de la courbe de Thomson. Les courbes diffèrent surtout à l'origine, c'est-à-dire pour des intensités très faibles. Or c'est cette partie de la

courbe qui est intéressante, car, même pour la courbe de Thomson, seule est utilisée en télégraphie une petite portion du début de la courbe ; le reste est absorbé par le procédé de raccourcissement des signaux transmis et par les dispositifs de réception.

Sur la figure 19, on a représenté, à une grande échelle, le début des courbes pour des valeurs de Λ comprises entre 7,5 et

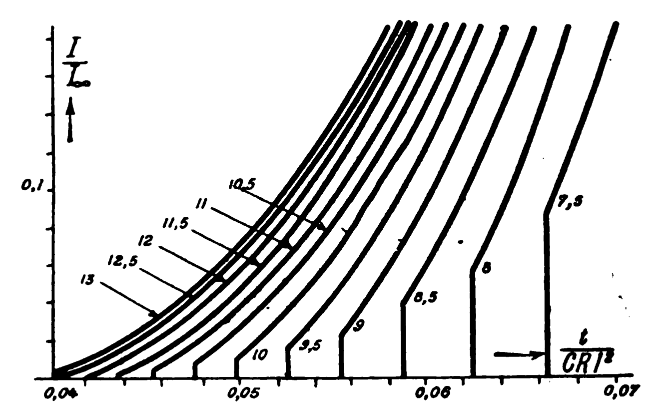


Fig. 19. — Allure du début des courbes relatives à l'intensité à l'arrivée, pour des valeurs de Λ comprises entre 7,5 et 13.

13. Les ordonnées de l'ensemble des courbes ont été déduites de la valeur I_∞ de l'intensité finale.

17. Influence des courants telluriques sur la vitesse de reproduction des signaux transmis sur câbles Krarup. — D'après les considérations faites à propos du câble Thomson, on voit que, sur un long câble sous-marin, l'émission de l'impulsion la plus courte doit se prolonger jusqu'à ce que l'intensité du courant ait atteint la valeur 0,002 I_∞ si l'on veut éliminer à coup sûr l'influence des courants telluriques. Les courbes, correspondant aux valeurs de Λ allant jusqu'à 9 inclus, atteignent la valeur 0,002 I_∞ dès l'arrivée du front de l'onde; la deuxième impulsion doit donc suivre immédiatement la première, c'est-à-dire que la vitesse de transmission n'est pas limitée par des considérations relatives aux perturbations dues aux courants telluriques.

Pour une valeur de Λ égale à 10, il s'écoule le temps $0{,}00125\ CRl^2$ entre l'arrivée du front de l'onde et le moment où l'intensité du courant atteint la valeur $0{,}002\ I_\infty$. De ce laps de temps très court, on déduit la vitesse maximum de transmission :

$$n = \frac{13.000}{CRl^2}.$$

Pour exprimer les vitesses qu'il est possible d'atteindre avec des valeurs de Λ comprises entre 9 et 13, on utilise la formule empirique :

$$n = \frac{13.000}{(\Lambda - 9)\ CRl^2}. \qquad (24)$$

18. Valeurs qu'il convient de donner à Λ pour les câbles sous-marins de grande longueur. — Pour des raisons d'ordre économique, on n'augmente pas l'inductance au delà des limites strictement nécessaires. D'après ce qui précède, on voit qu'il n'est pas utile de descendre au dessous de 9 pour la valeur de Λ. D'autre part, si cette valeur est largement dépassée, la vitesse maximum de transmission se trouve tellement réduite que l'augmentation de l'inductance ne procure plus un avantage appréciable. Pour un câble transocéanique *rapide*, il faudrait s'efforcer d'atteindre des valeurs de Λ comprises entre 10 et 12; pour cette dernière valeur, et d'après la formule (24), la vitesse maximum atteint encore $4330/CRl^2$, c'est-à-dire qu'elle correspond à 5,5 fois la vitesse qu'on a pu atteindre jusqu'ici sur les câbles Thomson.

19. Moyens permettant d'augmenter la vitesse de réception. — Les considérations qui précèdent n'indiquent pas si l'on peut réaliser pratiquement les vitesses théoriques, ni quels sont les moyens auxquels il faut recourir. De même que pour le câble Thomson, il faut faire appel à des dispositifs spéciaux qui donnent, à la courbe de l'intensité du courant à l'arrivée, une forme telle, que les signaux transmis à une vitesse donnée demeurent lisibles. On peut se faire une idée des possibilités qui s'offrent

ici, en considérant les courbes des dérivées première et seconde de la courbe de l'intensité du courant à l'arrivée, sur un câble fermé sur une petite résistance. Ces courbes ont ici la même signification que les dérivées correspondantes de la courbe de Thomson dans le cas d'un câble Thomson. Sur les figures (20) et (21) ont été reproduites les courbes obtenues sur un câble Krarup pour $\Lambda = 10$; à titre de comparaison, on y a tracé également les courbes correspondantes pour un câble Thomson. La courbe de la dérivée seconde, dans le cas d'un câble Krarup,

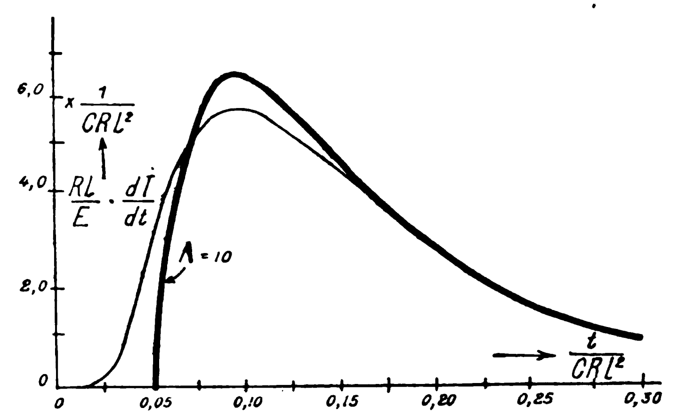


Fig. 20. — Dérivée première de la courbe correspondant à $\Lambda = 10$ et de la courbe de Thomson.

est particulièrement favorable à une télégraphie rapide ; elle n'impose aucune limite supérieure à la vitesse de transmission, parce que les signaux ainsi formés restent lisibles même s'ils se succèdent très rapidement. Mais la vitesse se trouve limitée pour d'autres raisons (1).

Après avoir reconnu (comme nous venons de le voir et d'après d'autres considérations) qu'il était possible d'augmenter dans des proportions appréciables la vitesse de transmission sur un câble Krarup dont le Λ était de l'ordre de 10, il restait à

(1) Les courbes des figures 20 et 21 sont valables pour $G = 0$. Si l'on tient compte des pertes, les ordonnées correspondant à l'affaiblissement maximum sont proportionnellement moins hautes, mais la forme de la courbe devient encore plus favorable.

résoudre le problème consistant à réaliser les moyens techniques nécessaires, à savoir :

a) un appareil rapide pour la transmission,
b) un montage convenable,
c) un appareil rapide pour la réception,
d) un bon câble.

20. Essais de transmission télégraphique sur un câble artificiel représentant un câble sous-marin Krarup. — *a*) *Avec*

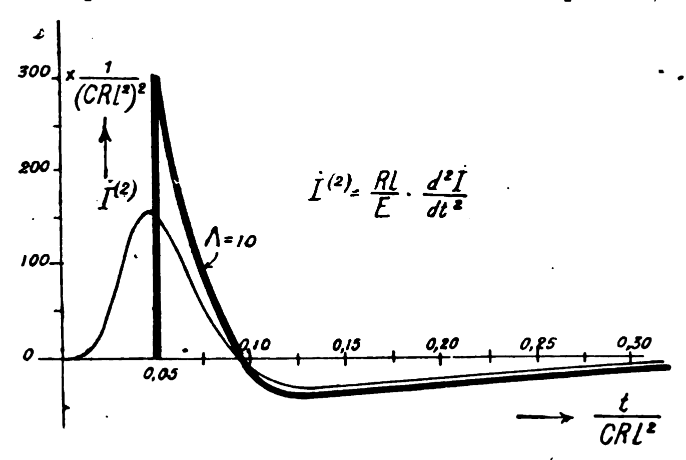


Fig. 21. — Dérivée seconde de la courbe correspondante à $\Lambda = 10$ et de la courbe de Thomson.

le code à trois signaux (*système de l'enregistreur à siphon*). — Comme on ne disposait d'aucun câble Krarup ayant un Λ égal à 10, il a fallu essayer les appareils et la ligne sur un câble artificiel. Ledit câble, construit par les soins du Service d'études techniques de l'administration allemande des télégraphes, est composé de 440 cellules ; son $\Lambda = 10$ environ ; son $CRl^2 = 5{,}7$; sa résistance totale est de 6.200 ohms. L'inductance est représentée par des bobines Pupin de $0^H{,}207$ chacune. L'allure de l'intensité du courant, à l'extrémité réceptrice du câble artificiel, est représentée sur la figure 22 ; cette allure est moins favorable que sur le câble réel (voyez la ligne en trait pointillé de la figure 22), et, par suite, il faut s'attendre à ce que la

vitesse réalisable sur le câble artificiel soit moins grande que sur le câble réel. En réalité, on a pu atteindre la vitesse de

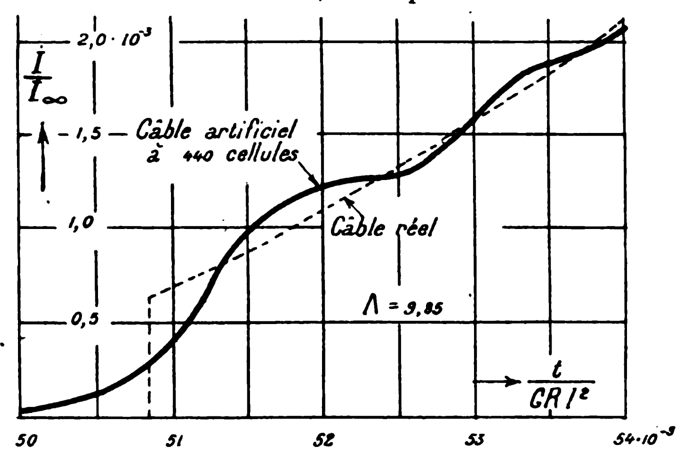


Fig. 22. — Allure de l'intensité du courant à l'arrivée, sur un câble réel ($\Lambda = 9{,}85$) et sur le câble artificiel correspondant formé de 440 cellules.

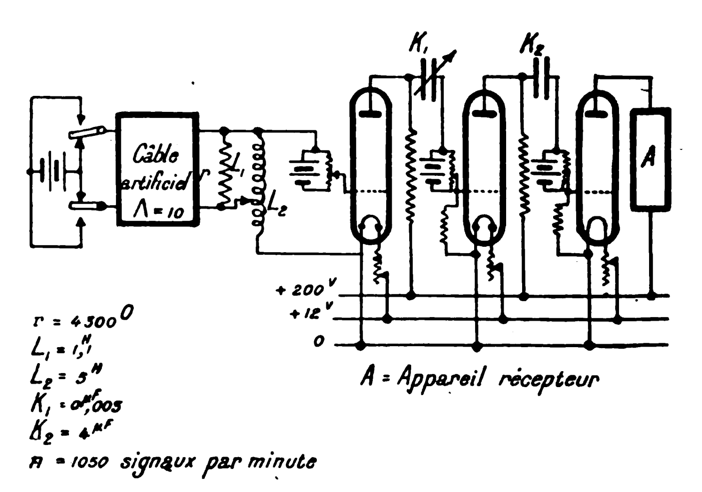


Fig. 23. — Schéma d'un montage pour télégraphie rapide sur câble sous-marin krarupisé (1.050 signaux par minute).

1.050 signaux par minute (code de l'enregistreur à siphon), ce qui correspond à :

$$n = \frac{6.000}{C R l^2}, \tag{25}$$

c'est-à-dire une vitesse qui est 7,5 fois plus grande que la vitesse d'impression réalisée précédemment.

On a atteint une vitesse supérieure à 1.000 signaux par minute en recourant à divers montages ; la figure 23 représente un de ceux-ci ; d'autres sont représentés schématiquement plus loin (fig. 32), Le dispositif de la figure 23 est remarquable par sa simplicité. L'allure de la courbe de l'intensité à l'arrivée est corrigée en partie par l'auto-transformateur L_1 — L_2 dont le primaire est monté en parallèle avec la résistance r, et en partie par le circuit de couplage placé entre le premier et le second



Fig. 24. — Mot transmis à la vitesse de 1.050 signaux par minute sur un câble Krarup ($\Lambda = 10$).

tube à vide,dont le condensateur K_1 a été réglé sur une valeur très faible de capacité. Le couplage entre le second et le troisième tube amplificateur est sans distorsion. Le coefficient de raccourcissement des signaux était égal à 0,75 ($k = 0,75$; voy. formule 4).

La figure 24 représente le mot « künstlich » transmis, à titre d'essai, en code à trois signaux.

b) *Avec le télégraphe imprimeur Siemens.* — L'expérience ayant démontré qu'on pouvait transmettre, sur le câble Krarup, jusqu'à 1.050 signaux de l'alphabet pour enregistreur à siphon, on pouvait espérer exploiter un tel câble avec des appareils rapides imprimeurs. Ces appareils fonctionnent d'après le code dit « à cinq signaux », c'est-à-dire qu'ils utilisent des combinaisons de cinq impulsions se succédant rapidement et pouvant être soit positives, soit négatives. La longueur moyenne d'un signal télégraphique, y compris l'espacement entre deux mots consécutifs (l'espacement entre deux lettres voisines est sensiblement nul), est de l'ordre de 5,8 signaux élémentaires. La vitesse d'enregistrement des appareils imprimeurs pour une durée égale des impulsions servant à former les caractères, est plus petite de 3,75 à 5,8 que celle de l'enregistreur à siphon. Aussi s'atten-

dait-on à atteindre, sur le câble Krarup artificiel, une vitesse de l'ordre de 680 signaux par minute. Mais les résultats obtenus ont dépassé cette espérance : avec le télégraphe rapide Siemens, on a pu transmettre, sans difficultés, à la vitesse de 870 signaux par minute. Ce rendement est, en vérité, inférieur à celui de l'enregistreur à siphon ; mais il est compensé par le fait que le télégraphe Siemens imprime sur bande en caractères typographiques. Si l'on a besoin d'exploiter le câble à plein rendement, il faut évidemment en revenir au code à trois signaux (enregistreur à siphon), quitte à traduire ensuite les signaux de ce code en écriture courante.

21. Appareil transmetteur rapide Siemens approprié au code à trois signaux. — Pour émettre les signaux du système à siphon, on s'est servi jusqu'ici du transmetteur Muirhead, qui peut donner jusqu'à 400 signaux par minute. Les signaux sont formés d'une façon purement mécanique; le raccourcissement s'effectue aussi mécaniquement. Ce type de transmetteur est de construction compliquée, délicat à employer, et presque inutilisable lorsqu'on veut réaliser de grandes vitesses. La maison Siemens et Halske a construit un appareil rapide de transmission, réalisant ainsi un nouveau progrès en télégraphie sous-marine. Les signaux sont formés à l'aide d'un disque à contacts, sur lesquels frottent des balais dont on peut varier la position ; des décharges de condensateurs, provoquées par l'appareil Siemens, inversent brusquement les relais de transmission. La figure 25 permet de se rendre compte du fonctionnement de l'installation.

On l'alimente sur le réseau à 110 volts continus, à travers une résistance composée de deux parties de 80.000 ohms chacune; de chaque côté de celles-ci est monté en parallèle un condensateur de 2 microfarads. Le point milieu de la tension est amené au balai *a*, qui se déplace sur un disque complet du collecteur. A ce disque, sont reliés solidement deux pièces de contact *k*, isolées sur leur pourtour ; dès que l'un des contacts passe devant le balai *b*, le condensateur de gauche peut se décharger à travers l'un des deux relais. Les touches « point » et « trait »

sont actionnées, de la manière habituelle, par des leviers coudés qui s'engagent sur une bande de papier perforée et déterminent lequel des deux relais doit basculer son armature. Les relais et la pile télégraphique sont montés comme il est d'usage sur les autres installations. On réalise le raccourcissement des signaux à l'aide d'un deuxième balai *c* qui parcourt le collecteur et qui est relié au condensateur de droite et au pôle négatif de la source électrique à travers les deuxièmes enroulements des relais

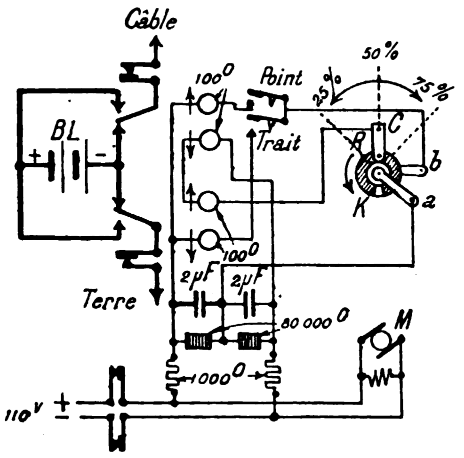


Fig. 25. — Transmetteur rapide Siemens utilisé sur les câbles télégraphiques.

montés en série. Dès que la pièce de contact passe sous le balai *c*, le condensateur de droite se décharge et les deux armatures des relais reviennent à leur position de repos. On voit qu'en décalant le balai *c* on peut raccourcir plus ou moins la durée d'exécution du mouvement déclanché par le balai *b*. Le balai de raccourcissement *c* peut être déplacé de telle sorte qu'on puisse travailler avec des mises à la terre de 25 à 75 °/₀, c'est-à-dire qu'on a alors, pour *k*, des valeurs comprises entre 0,75 et 0,25.

La dynamo M actionne le collecteur, à travers un dispositif d'accouplement par frottement variable permettant de modifier la vitesse ; le déplacement de la bande de papier est solidaire de la vitesse de rotation du collecteur. Une demi-révolution du col-

lecteur correspond à un signal télégraphique. On peut faire varier la vitesse de l'appareil transmetteur entre 150 et 1.500 signaux par minute. Cet appareil donne des signaux très précis; lors des essais, il a donné entière satisfaction.

22. Appareil rapide de réception pour code à trois signaux (récepteur Stahl-Huth). — Pour recevoir les signaux très faibles

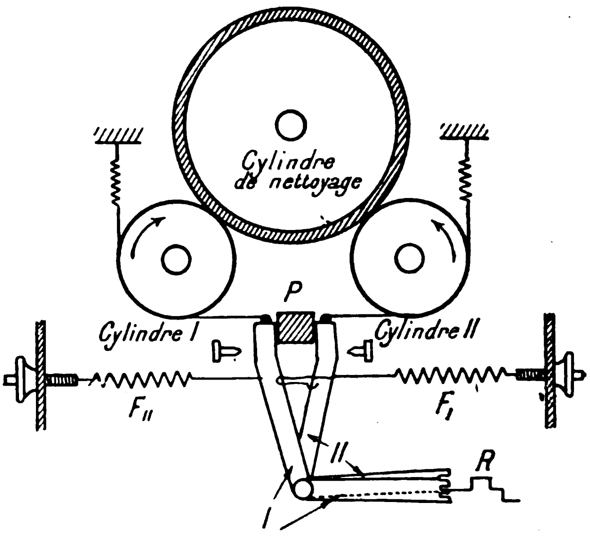


Fig. 26. — Partie mécanique du récepteur rapide Stahl-Huth.

qui se succèdent rapidement à l'extrémité réceptrice des câbles exploités à l'enregistreur à siphon, M. Stahl, des Services techniques de l'administration allemande des télégraphes, a réalisé, en collaboration avec la maison Huth, un appareil de réception rapide basé sur le principe de l'attraction électrique exploité par MM. Johnson et Rahbek [1], et capable de recevoir correctement 1.800 signaux par minute.

La bande de papier sur laquelle doivent apparaître les caractères se déplace horizontalement de droite à gauche sous le petit tube d'impression R (fig. 26). Si le cylindre I, mauvais conducteur (tournant dans le sens indiqué par la flèche), entraîne

(1) *Zeitschrift für techn. Physik*, vol. 2, 1921, page 315.

le ruban métallique qui appuie sur lui, le tube de verre (siphon) se déplace dans une certaine direction sous l'effet du levier; le cylindre II produit le déplacement du siphon en sens contraire. La figure 27 représente les connexions électriques entre cylindres et rubans. Chacun des cylindres, avec son ruban métallique auquel est appliquée une contre-tension e_1 ou e_2, se trouve placé dans le circuit de sortie de l'amplificateur à lampe. Les tensions sont calculées de telle sorte qu'au repos le cylindre I soit sou-

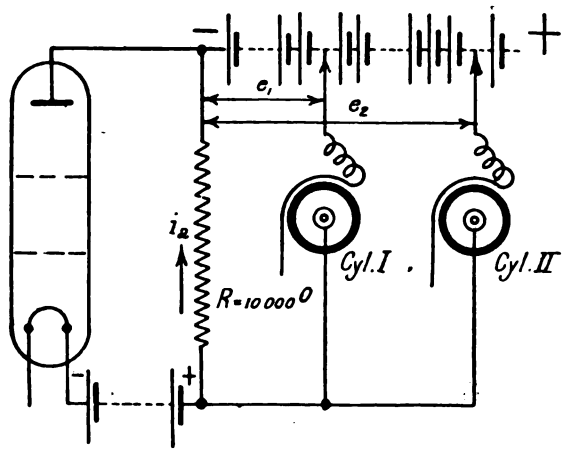


Fig. 27. — Schéma des connexions du récepteur rapide pour câbles.

mis à une tension initiale positive et le cylindre II à une tension initiale négative du même ordre de grandeur, mais aussi de sorte qu'elles ne soient pas suffisantes pour entraîner, par attraction électrique, les rubans métalliques qui appuient sur les cylindres. Si une impulsion positive atteint l'entrée de l'amplificateur, le courant dans le circuit de sortie augmente et, par conséquent, la tension sur le cylindre I; mais alors la tension décroît sur le cylindre II. Le cylindre I attire son ruban métallique et le tube d'impression trace une déviation positive. De la même manière, une impulsion négative produit une augmentation de la tension sur le cylindre II, et une diminution de la tension sur le cylindre I; le cylindre II attire le ruban métallique, et le tube d'impression marque une déviation négative.

La force d'attraction entre cylindres et rubans est tellement grande, que le dispositif imprimeur doit être très robuste.

IV. Construction des cables Krarup appropriés a la télégraphie transocéanique rapide.

23. Historique. — Le plus important des perfectionnements envisagés dans la présente étude s'applique au *câble sous-marin*. Nous l'avons dit plus haut, l'idée d'utiliser les câbles Krarup en télégraphie n'est pas nouvelle : les premières tentatives remontent à une trentaine d'années. Dans le brevet anglais n° 27.265, délivré en 1903, Oliver Lodge et A. R. Hardie ont parfaitement analysé les principes sur lesquels repose la construction d'un câble de ce genre. Le câble télégraphique Krarup est un bel exemple d'un fait confirmé depuis longtemps par l'expérience, à savoir qu'une découverte technique, pratique en soi, ne passe du domaine théorique dans le domaine pratique que le jour où l'on a réellement besoin de l'appliquer. Nous avons déjà vu que ce besoin existait en télégraphie sur câble depuis de nombreuses années.

24. Exemple typique de la constitution d'un câble télégraphique Krarup. — D'après les considérations qui précèdent, un câble transocéanique rapide doit avoir une longueur électrique de l'ordre de 10. L'inductance nécessaire dépend du choix des autres constantes du câble, en premier lieu de la résistance (voy. formules 16 et 18). Considérons un câble type, et voyons comment sont appliqués les principes sur lesquels doit être basée sa construction. Supposons qu'il ait une longueur de 2.050 milles marins (3.800 kilomètres), ce qui correspond sensiblement à la section Borkum — Açores de la liaison Allemagne — Amérique du Nord. La figure 28 représente en coupe le conducteur du câble ; le cercle intérieur représente le conducteur en cuivre, dont le diamètre $d = 5^{mm},33$, le poids $p = 800$ livres anglaises par mille marin (une livre anglaise $= 453^{g},6$), et la résistance $0^{\Omega},77$ par kilomètre. Ce conducteur est entouré d'un enroulement, d'une épaisseur de $0^{mm},8$ constitué par un ruban de fer au silicium, large de 3^{mm} ; sur cet enroulement, on a posé une couche isolante de gutta-percha, épaisse de $3^{mm},06$, et pesant 400 livres

anglaises par mille marin (1.855m). Dans ces conditions, la capacité $\frac{C}{S}$ du conducteur est égale à $0^{\mu F},283$ par kilomètre, et la perte diélectrique $G = 2^{\mu S},56$ par kilomètre ; G dépend de la fréquence (formule 13). Les signaux télégraphiques sont apério-

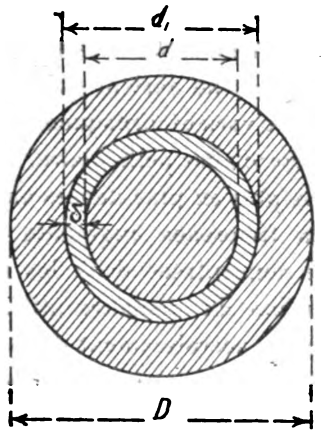


Fig. 28. — Coupe du conducteur d'un câble télégraphique Krarup.

diques ; si l'on représente une série de signaux du code de l'enregistreur à siphon, parfaitement lisibles, par une intégrale de Fourier, on trouve que l'écriture renferme en grand nombre des fréquences pouvant atteindre la valeur

$$f = \frac{0,8}{S} = \frac{n}{20} . \qquad (26)$$

C'est pourquoi, en supposant que $n = 1.200$, on peut compter sur une valeur de f égale à 60.

Supposons que le ruban de fer au silicium ait une perméabilité μ égale à 150 pour les faibles intensités de champ considérées ici. L'enroulement Krarup procure une inductance

$$\Delta L = 4,6\,\mu \log \frac{d_1}{d} \cdot 10^{-4} = 7^{mH},86 \text{ par kilomètre.}$$

A cela, s'ajoute l'inductance propre du câble, qu'on peut estimer être égale à $1^{mH},74$ par kilomètre [1] ; l'inductance totale est donc égale à :

(1) D'après les expériences de Pernot (*Journ. Franklin Inst.*, 1920,

$(7,86 + 1,74) = 9^{mH},60$ par kilomètre.

A la résistance ohmique de la ligne, s'ajoute la résistance du conducteur de retour et l'accroissement de résistance dû aux pertes dans le fer.

Autrefois, on considérait comme négligeable la résistance du conducteur de retour, en raison de ce que l'eau de mer est bonne conductrice. Il en est ainsi dans le cas du courant continu et pour des courants qui ne varient que très lentement. Mais, pour des courants qui varient brusquement, il se produit dans l'eau de mer une sorte d'effet pelliculaire. Les lignes du flux de retour deviennent de plus en plus denses au voisinage immédiat du câble lorsque la fréquence augmente progressivement, et elles sont en partie concentrées dans les fils de l'armature du câble. Cette diminution du diamètre utilisé par le courant de retour se traduit par un accroissement de la résistance qui, dans le cas envisagé, atteint sensiblement $0^{\Omega},20$ par kilomètre à la fréquence $f = 60$. La théorie de ce phénomène a été formulée d'abord par Oldenberg, à la suite d'expériences faites pour le compte de la marine allemande (1), puis par Carson et Gilbert (2). La concentration du courant dans l'eau de mer a pour conséquence, comme on vient de le voir, un accroissement de la résistance et, de plus, une réduction de l'inductance propre du câble. Cette réduction s'élève à environ $3^{mH},5$ par kilomètre pour le câble considéré, exploité en courant continu ; elle n'est plus que de $1^{mH},74$ par kilomètre à la fréquence $f = 60$.

Pour calculer l'accroissement de résistance dû aux courants de Foucault circulant dans l'enroulement Krarup, on applique la formule :

$$\left.\begin{aligned} &\Delta R = 2/3\ F \left(1 - \frac{\delta}{d}\right)\left(1 - 0,63\ \frac{\delta}{b}\right) \text{ ohms par kilomètre,} \\ &\text{où } F = \frac{2\pi\,\mu^2\,\omega^2\,\delta^3}{\rho\, d}\, 10^{-4}. \end{aligned}\right\} \quad (27)$$

p. 323), et les calculs d'Oldenberg (*Archiv. f. Elektrot.*, 1920, p. 289) et de Carson et Gilbert (*Journ. Franklin Inst.*, 1921, p. 705).

(1) *Archiv. f. Elektrot.*, vol. 9, 1920, p. 289.

(2) *Journal Franklin Institute*, vol. 192, 1921, p. 705.

Dans la formule ci-dessus,

δ = épaisseur de l'enroulement, exprimée en centimètres ;

d = diamètre du conducteur de cuivre, en centimètres ;

b = largeur du ruban de fer, en centimètres ;

ρ = résistance spécifique du ruban Krarup ; pour le fer au silicium, $\rho = 3.10^4$;

μ = perméabilité du ruban Krarup ;

$\omega = 2\pi f$ = pulsation.

Dans le cas qui nous occupe,

$$\Delta R = 0^{\Omega},03 \text{ par kilomètre.}$$

L'accroissement de résistance dû à l'hystérésis magnétique est sensiblement du même ordre de grandeur. Par suite, la résistance totale est donnée par la formule :

$$R = 0,77 + 0,20 + 0,06 = 1^{\Omega},03 \text{ par kilomètre.}$$

Avec les constantes maintenant définies, on a :

impédance : $Z = 184$ ohms ;
coefficient d'affaiblissement : $b = 11,5$;
longueur électrique : $\Lambda = 9,2$;
constante de temps : $CRl^2 = 4^s,08$.

Le câble considéré possède des caractéristiques meilleures que celles du câble artificiel, sur lequel on a pu réaliser des vitesses supérieures à 1.000 signaux par minute. Il convient donc parfaitement pour la télégraphie transocéanique rapide.

On peut se demander si l'on n'obtiendrait pas le même résultat en renonçant à l'enroulement Krarup et en augmentant convenablement le diamètre du conducteur de cuivre [1]. Mais alors on retomberait dans le cas d'un câble Thomson dont le conducteur aurait une section de 40^{mmq}, et une résistance ohmique de $0^{\Omega},44$ par kilomètre. Et si, comme précédemment, on admet que la résistance du conducteur de retour est de $0^{\Omega},2$ par kilomètre, on trouve, pour la constante de temps :

$$CRl^2 = 0,283 \times 10^{-6} \times 0,64 \times 3800^2 = 2,62.$$

(1) Voy. les déclarations de B. Davies, *Journ. Inst. of Elect. Eng.*, vol. 46, 1911, p. 377-378.

Par conséquent, on ne peut transmettre sur ce câble que :

800 : 2,62 = 300 signaux par minute

si l'on utilise les moyens ordinaires (formule 9), et 600 signaux par minute en mettant à profit les perfectionnements les plus récents. L'inductance propre donne au câble une longueur électrique de 15,5 ; avec une valeur aussi élevée, c'est comme si le câble n'avait pas d'induction.

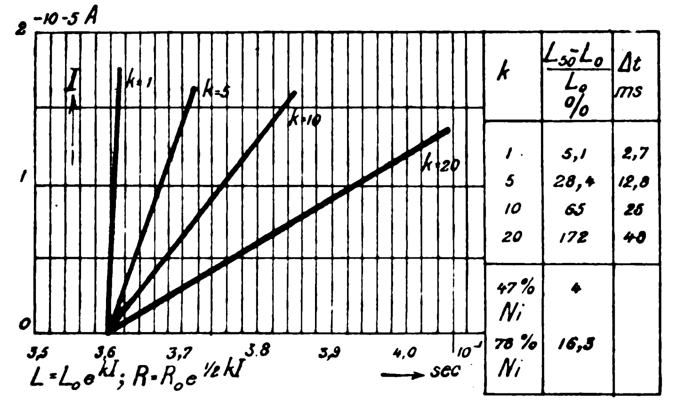
25. Enroulements Krarup en alliages fer-nickel. — Le câble Krarup considéré ci-dessus est, par rapport aux types usuels de câble, à la fois lourd et coûteux. On peut diminuer sensiblement le poids du câble en choisissant, pour l'enroulement, un métal possédant une grande perméabilité pour les faibles intensités de champ. D'après les recherches effectuées par Burgess et Aston (1), les métaux les plus convenables seraient les alliages fer-nickel renfermant plus de 30 °/₀ de nickel. Une étude approfondie des propriétés des alliages fer-nickel, effectuée avec la collaboration de la société Felten et Guilleaume, de la société Vacuumschmelze, et de l'Institut physico-technique, a conduit à la conclusion que, pour les câbles télégraphiques krarupisés, ce sont les alliages renfermant de 40 à 50 °/₀ de nickel qui conviennent le mieux, et plus particulièrement l'alliage à 47 °/₀ environ. Celui-ci est caractérisé par une grande perméabilité initiale, par une hystérésis faible, et par une résistance spécifique relativement élevée. Si l'alliage est bien conditionné, *sa perméabilité initiale n'est que très peu influencée par l'intensité du champ; c'est pourquoi il a reçu le nom d'invariant.* Pendant les travaux effectués en collaboration, dont il vient d'être question, MM. Arnold et Elmen (2) ont annoncé que la compagnie Western Electric avait réussi à obtenir, avec le *permalloy* (78,5 °/₀ de nickel et 21,5 °/₀ de fer), une perméabilité initiale double de celle des alliages renfermant

(1) Burgess et Aston, *Metallurgical and Chemical Engineering*, 1910, p. 23.

(2) H. D. Arnold et G. W. Elmen, *Journal Franklin Institute*, vol. 195, 1923, p. 621.

de 40 à 50 °/₀ de nickel. Une communication plus récente de F.B. Jewett [1] nous apprend que la compagnie Western Union Telegraph, de New York, fait construire en Angleterre un câble chargé au permalloy. D'après nos propres expériences, le permalloy présente, par rapport à l'invariant, l'inconvénient suivant : dans le cas de champs peu intenses, sa perméabilité varie beaucoup suivant l'intensité du champ.

26. Influence, sur la vitesse de transmission, des variations de la perméabilité avec l'intensité du champ. — Il résulte



k	$\frac{L_{50} - L_0}{L_0}$ %	Δt ms
1	5,1	2,7
5	28,4	12,8
10	65	26
20	172	40
47 % Ni	4	
78 % Ni	16,3	

Fig. 29. — Aplatissement du front de l'onde sur les longs câbles Krarup ; *k* exprime comment les courants varient avec l'inductance.

de cet inconvénient que l'inductance du câble varie suivant l'intensité du courant ; d'après les recherches de Salinger [2], ces variations se traduisent, sur un câble krarupisé, par un aplatissement du front de l'onde et, par suite, par une diminution de la vitesse d'enregistrement des signaux télégraphiques. Les courbes représentées sur la figure 29 sont extraites de l'article de Salinger ; elles montrent l'allure du front de l'onde à l'extrémité réceptrice d'un câble Krarup de 4.000 kilomètres (tension appliquée au départ : 60^V). L'induc-

(1) *Electrical Communication*, vol. 2, 1924, p. 232.
(2) H. Salinger, *Archiv. f. Elektrot.*, vol. 12, 1923, p. 268.

tance et la résistance sont fonctions de l'intensité, comme l'expriment les formules empiriques :

$$L = L_0 \, e^{kI} \quad , \; R = R_0 \, e^{1/2\, kI},$$

où $L_0 = 0^H,04$ par kilomètre, $R_0 = 2$ ohms par kilomètre; en outre, $C = 0^{F\mu},2$ par kilomètre. Pour les quatre valeurs supposées de k (1, 5, 10, 20 A^{-1}), l'accroissement relatif de l'inductance, avec un courant de 50 milliampères, a, pour valeur :

	$k = 1$	$k = 5$	$k = 10$	$k = 20$
$\dfrac{L_{50} - L_0}{L_0} =$	5,1 °/₀	28,4 °/₀	65 °/₀	172 °/₀
$\Delta t =$	$2^{ms},7$	$12^{ms},8$	25^{ms}	48^{ms}

La dernière ligne ci-dessus indique la durée Δt de l'accroissement du front de l'onde en millisecondes. A la vitesse d'enregistrement de 1.000 signaux par minute, la durée totale d'un signal (formule 3) n'est que de 16 millisecondes. On voit donc qu'il est important que l'inductance et l'intensité du courant dépendent le moins possible l'une de l'autre. Dans le cas du câble transocéanique considéré, on peut admettre une variation de l'inductance de l'ordre de 5 °/₀ pour des intensités comprises entre 0 et 50 milliampères ; une dépendance sensiblement plus accentuée entre I et L est sujette à caution, car elle se traduit par une diminution de la netteté des signaux télégraphiques et, par suite, une diminution de la vitesse d'enregistrement de ces signaux.

Pour se rendre compte de la valeur respective du permalloy (78,5 °/₀ de nickel) et de l'invariant (47 °/₀ de nickel), on a procédé à une série d'expériences sur des tronçons de câble, chargés à l'aide de l'un et l'autre de ces métaux. Les valeurs moyennes obtenues sont données par le tableau suivant :

Alliages	μ (1)	$\frac{L_{50} - L_0}{L_0}$	ρ
Invariant	800	0,040	$4,3 \times 10^4$
Permalloy	1570	0,163	$1,9 \times 10^4$

La haute résistance spécifique ρ de l'invariant est un avantage au point de vue de la réduction des pertes par courants de Foucault (voy. formule 27). Les conducteurs étaient entourées, en partie au moyen d'un ruban Krarup, en partie au moyen de deux rubans ayant une largeur de $0^{mm},15$ et une section de 3^{mmq}; pour donner aux enroulements des propriétés magnétiques favorables, on les avait recuits, d'après un procédé ayant fait ses preuves.

27. Construction d'un câble transocéanique rapide, chargé à l'invariant (53 °/₀ de fer et 47 °/₀ de nickel). — On trouvera ci-dessous un exemple de l'utilisation de cet alliage. Le conducteur en cuivre pèse 600 livres anglaises par mille marin ; son diamètre est de $4^{mm},6$ et sa résistance de $1^{\Omega},03$ par kilomètre.

L'enroulement Krarup a $0^{mm},2$ d'épaisseur et une perméabilité initiale $\mu = 800$; il augmente l'inductance de $13^{mH},45$ par kilomètre. Si l'on calcule l'inductance propre à raison de $1^{mH},75$ par kilomètre, on obtient, pour le conducteur, une inductance totale

$$L = 15^{mH},2 \text{ par kilomètre.}$$

D'après les mesures faites sur les câbles d'essai, l'accroissement de résistance imputable aux pertes dans le fer (hystérésis, courants de Foucault) est sensiblement égal à $0^{\Omega},2$ par kilomètre (2).

(1) Il s'agit ici de la perméabilité effective de l'enroulement Krarup après mise en place ; pour des barreaux ou des anneaux métalliques, on obtient des valeurs beaucoup plus grandes.

(2) Les pertes dues aux courants de Foucault déterminent un accroissement de résistance atteignant au plus $0^{\Omega},014$ par kilomètre (formule 27); l'accroissement de résistance imputable à l'hystérésis s'accentue au fur et à mesure que l'intensité du courant augmente (voy. H. Jordan, *Elektr.*



En ajoutant la résistance du conducteur de retour ($0^{\Omega},2$ par kilomètre), on a, pour la résistance effective :

$$R = 1^{\Omega},43 \text{ par kilomètre.}$$

Le conducteur du câble est entouré d'une gaine isolante en gutta-percha offrant un diamètre total de $11^{mm},5$ et pesant 350 livres anglaises par mille marin; il possède une capacité

$$C = 0^{\mu F},218 \text{ par kilomètre,}$$

et une perditance

$$G = 2^{\mu S} \text{ par kilomètre.}$$

Pour une longueur $l = 3.800$ kilomètres, les constantes sont les suivantes :

impédance : $Z = 263$ ohms ;
coefficient d'affaiblissement : $b = 11,3$;
longueur électrique : $\Lambda = 9,3$.

D'après les expériences rappelées plus haut, on pourrait atteindre sur ce câble une vitesse d'enregistrement des signaux d'au moins 1.050 signaux par minute.

Il est intéressant de comparer le poids de ce câble à celui du câble étudié en premier lieu et krarupisé au moyen d'un ruban de fer au silicium :

Nature de l'enroulement	Poids en livres anglaises, par mille marin,			Vitesse d'enregistrement des signaux (nombre de signaux par minute)
	du conducteur de cuivre	de l'enroulement Krarup	de la gutta-percha	
Fer au silicium....	800	490	400	1.050
Invariant..........	600	100	350	1.050
Câble d'anc. modèle (Emden-Açores II)..	500	—	290	175

Comparé au câble chargé avec du fer au silicium, le câble

Nachrichtentechnik, vol. 1, 1924, p. 7). La valeur indiquée ici se rapporte à un courant de 20 milliampères; on peut la prendre pour valeur moyenne

chargé à l'invariant revient donc bien meilleur marché. Du fait que son poids est moins considérable, il est aussi plus facile à poser. Le tableau précédent indique le poids d'un câble d'ancien modèle sur lequel le service était assuré dans les deux sens ; la réception s'effectuait par appareil Heurtley, à la vitesse de 175 signaux par minute.

V. Fonctionnement en duplex.

28. Importance pratique du fonctionnement en duplex. — Presque tous les longs câbles sous-marins sont exploités en duplex, c'est-à-dire qu'on transmet simultanément dans les deux sens. On le fait non seulement pour utiliser le câble au mieux, mais encore pour une autre raison très importante. Tant qu'on ne dispose que d'un seul câble, il faut transmettre et recevoir alternativement dans chaque sens (alternat) : alors, les câblogrammes subissent fatalement des retards appréciables, aggravés encore par le fait des répétitions souvent nécessaires ; lorsqu'il s'agit par exemple de télégrammes de bourse, où les délais se comptent par minutes, ces retards sont inadmissibles.

29. Installations duplex. — Pour l'exploitation en duplex, on utilise des dispositifs en pont (fig. 30). Le pont est contitué

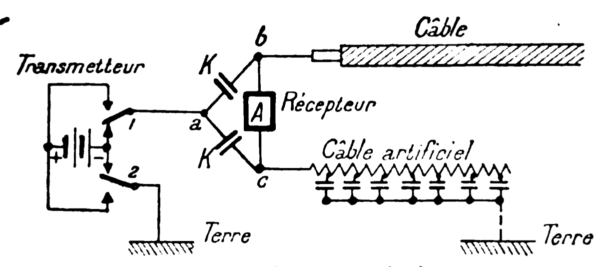


Fig. 30. — Montage en duplex.

par deux condensatenrs identiques K, par le câble, et par une ligne artificielle qui le représente. Si la ligne artificielle possède des constantes électriques identiques à celles du câble réel, l'équilibre du pont est réalisé ; alors l'appareil récepteur

---

dans le cas d'un câble sur lequel le courant varie entre 130 milliampères au départ et $0^{mA},02$ à l'arrivée (voy. un article récent sur les mesures effectuées sur les circuits krarupisés, publié dans l'*E. N. T.* par U. Meyer).

n'est pas actionné par les courants de départ. Le condensateur K, placé entre *a* et *b*, joue le rôle de condensateur de blocage ; il améliore la forme des siguaux. On peut évidemment remplacer les deux condensateurs par des dispositifs quelconques, par exemple par des résistances ou des bobines de réactance égales, ou encore par des combinaisons de résistances, d'inductances, et de capacités.

30. Précision de l'équilibre. — Il est important qu'un équilibre précis soit réalisé. En général, sur un câble de grande longueur, le courant de départ est environ de 25.000 à 80.000 fois plus intense que le courant d'arrivée. Pour que les signaux soient lisibles, il ne faut pas que les courants dus au défaut d'équilibre du pont dépassent 1/5 des courants utiles. Par suite, il faut que l'équilibre du pont soit réalisé avec une approximation comprise entre 1/125.000 et 1/400.000.

31. Câbles artificiels. — La précision de l'équilibre dépend en grande partie de la façon dont la ligne artificielle reproduit le câble. Avec le montage représenté sur la figure 30, la finesse du fractionnement joue un rôle capital. Pour éliminer l'influence du fractionnement, Taylor et Muirhead ont imaginé, en 1875, un câble artificiel à capacité uniformément distribuée. Il comprend un ruban long et mince de stanniol, qui est isolé d'une contre-électrode mise à la terre, par une mince couche de papier paraffiné. Le ruban a même résistance totale et même capacité totale par rapport à la terre que le câble télégraphique ; sa capacité est également uniformément répartie. Le câble artificiel Taylor et Muirhead est la reproduction idéale d'un câble Thomson ; néanmoins, il n'équilibrait plus rigoureusement le câble réel dans le cas de l'exploitation en duplex, car il ne reproduisait pas l'inductance de ce dernier. On s'efforça, de remédier à cet inconvénient en faisant varier empiriquement la résistance et la capacité de chacune des cellules du câble artificiel jusqu'à ce que l'équilibre du pont fût suffisamment rigoureux. Comme on ne savait à peu près rien sur la façon dont l'inductance d'un

câble variait avec la fréquence jusqu'au moment où Oldenberg publia le compte rendu de ses travaux (1920) (1), ce mode d'équilibrage était laborieux, et l'on sait qu'au début il a fallu parfois plusieurs mois pour réaliser de cette manière la reproduction parfaite d'un câble nouvellement posé.

En négligeant la perditance, on peut calculer l'impédance d'un très long câble à la fréquence $f = \frac{\omega}{2\pi}$ en appliquant la formule :

$$Z = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{i\omega C}} = \sqrt{\frac{R}{i\omega C} + \frac{L}{C}}.$$

W. Milnor (2) a proposé de construire le câble artificiel avec des cellules formées comme l'indique la figure 31 ; avec un fractionnement suffisamment poussé, l'impédance de ce câble artificiel est donnée par la formule :

$$Z = \sqrt{\frac{R_1}{i\omega C'} + R_1 R_2};$$

Fig. 31. — Cellule d'un câble artificiel Milnor.

il semble donc qu'il convienne mieux que le câble artificiel dont il a été question en premier lieu. En se basant sur la théorie des filtres électriques (3), on peut combiner des cellules de telle sorte que leur impédance totale concorde avec celle du câble réel

$$Z = \sqrt{\frac{R + i\omega L}{G + i\omega C}}, \tag{28}$$

pour une certaine échelle de fréquences, en tenant compte de l'influence de celles-ci.

32. Nouvelles solutions du problème de l'exploitation en duplex. — Les études du service technique de l'administration allemande des télégraphes dans ce domaine sont basées sur *la limitation de la reproduction exacte des câbles pour*

(1) *Archiv f. Elektrot.*, vol. 9, p. 289.
(2) *Journal Amer. Inst. of Elec. Engineers*, 1922, page 118.
(3) K.-W. Wagner, *Arch. f. Elektrot.*, vol. 3, 1915, p. 315.

une échelle de fréquences bien déterminée, à savoir celle qu'il est nécessaire d'employer pour obtenir des signaux très lisibles, et sur *la suppression de toutes les autres fréquences*. Avec les installations duplex ordinaires, le courant de départ renferme des fréquences supérieures qui sont inutiles au point de vue de la reproduction des signaux à l'arrivée, car elles s'affaiblissent considérablement au cours de leur propagation le long du câble. Cependant elles gênent la réception si le pont n'est pas rigoureusement équilibré pour ces fréquences de rang élevé. Leur présence complique aussi sans nécessité la reproduction fidèle du câble télégraphique. On voit donc que le problème de l'exploitation en duplex se trouve beaucoup simplifié si l'on arrive à étouffer les fréquences inutiles, soit au départ, soit à l'arrivée, en associant à l'appareil récepteur des bobines de réactance ou des dispositifs d'absorption (bouchons). Suivant le cas, il est bon de recourir à l'un ou à l'autre de ces procédés (1).

33. Fréquences télégraphiques. — Avant d'exposer le résultat de nos recherches, il convient de dire deux mots des fréquences télégraphiques. Les signaux télégraphiques sont formés d'impulsions apériodiques. Si l'on représente un signal télégraphique par l'intégrale de Fourier, on voit de quelle manière varie l'amplitude des oscillations dans le spectre continu des fréquences où semble se placer le signal. On constate que les plus grandes amplitudes sont confinées dans une zone peu étendue, qu'on peut situer au voisinage de la fréquence

$$f_m = \frac{1}{2\,S} = \frac{n}{32} \text{ . (voy. formule 3.)} \qquad (29)$$

La *fréquence télégraphique moyenne* f_m est celle de la série d'inversions de courant (signaux transmis avec des courants alternativement positifs et négatifs).

En vue de préciser les limites de la bande de fréquences

(1) Cette question a été traitée par W. Milnor dans le travail publié par le *Journal of A.I.E.E.*, 1922, p. 118.

supérieures à f_m procurant des signaux encore lisibles, on a procédé à une série d'expériences avec les dispositifs représentés sur la figure 32 ; chacun d'eux comprenait un filtre à deux

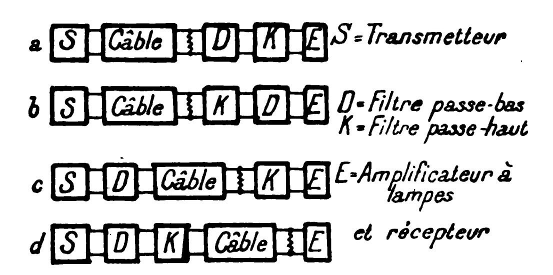


Fig. 32. — Dispositifs de télégraphie rapide sur les longs câbles krarupisés.

cellules, monté comme l'indique la figure 33 ; on sait que ces filtres possèdent la propriété d'étouffer toutes les oscillations dont la fréquence est supérieure à la fréquence critique de coupure

$$f_d = \frac{1}{\pi \sqrt{L_d C_d}}$$

et de laisser passer toutes celles dont la fréquence est inférieure

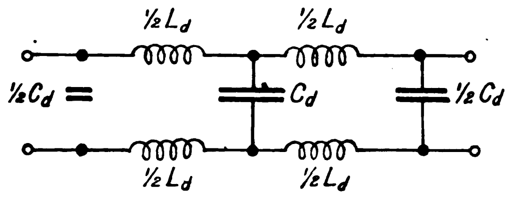


Fig. 33. — Filtre à deux cellules

à cette dernière. Dans le cas des figures 32 *a* et 32 *b*, le filtre est du côté de l'arrivée; il est du côté du départ dans le cas des figures 32 *c* et 32 *d*. Les uns et les autres de ces dispositifs montrèrent tous que la réception est aussi bonne (c'est-à-dire est la même que si les filtres n'étaient pas en circuit) tant que leur fréquence critique est au moins égale à 1,6 fois la fréquence télégraphique f_m. Les fréquences supérieures à 1,6 f_m sont donc inutiles pour la reproduction des signaux. Si la valeur de f_d tombe au-dessous de 1,6 f_m, les signaux deviennent tout à fait défectueux, parfois même totalement illisibles.

34. Transformation de la courbe de l'intensité du courant à l'arrivée à l'aide de dispositifs spéciaux montés à l'extrémité transmettrice. — Pour former les signaux d'arrivée, on s'est servi de la ligne artificielle représentée sur la figure 13 b_1 et comprenant, outre K_1, les inductances $L_0 = L_1$ (2 henrys et 2.000 ohms). A noter que l'effet de la ligne artificielle sur la forme des signaux se manifestait également lorsqu'elle était montée au commencement du câble, c'est-à-dire à l'extrémité transmettrice (fig. 32 *d*). Cette disposition a l'avantage d'éviter que la ligne artificielle n'affaiblisse les signaux d'arrivée, car on peut augmenter raisonnablement la tension appliquée au départ sans que le câble ait à supporter une tension trop élevée.

35. Expériences pratiques. — Les courbes reproduites sur la figure 34 constituent une partie de celles qu'on a obtenues

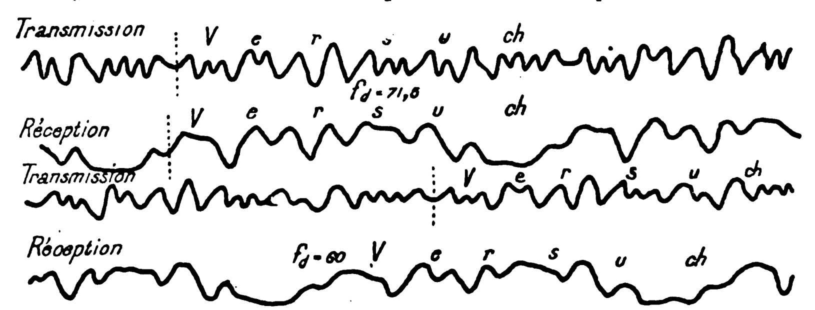


Fig. 34. — Transmission télégraphique à la vitesse de 1.200 signaux par minute (Montage schématisé sur la figure 32 *b*).
Courbes de l'intensité des courants de départ et d'arrivée, pour différentes valeurs de la fréquence critique du filtre électrique.

en employant le dispositif représenté sur la figure 32 *d* (1). Le câble utilisé était le câble artificiel dont il a été question plus haut, composé de 440 cellules, représentant le câble transocéanique d'inductance élevée. On transmettait à la vitesse de 1.200 signaux (code de l'enregistreur à siphon) par minute, correspondant à une fréquence moyenne $f_m = 37,5$. Pour les deux

(1) De même que la courbe de la figure 24, celles de la figure 34 ont été dessinées d'après l'original, car leur reproduction photographique était impossible.

courbes du haut de la figure 34, on avait $f_d = 71,5 = 1,9\, f_m$ et pour les deux courbes du bas, $f_d = 60 = 1,6\, f_m$. La première et la troisième courbe représentent l'intensité du courant envoyé sur le câble; on n'y voit plus de crêtes accentuées, parce que toutes les hautes fréquences superflues ont été éliminées. On voit sans peine que le mot transmis était le substantif « Versuch » ; les lettres qui le composent ont été indiquées sous chacun des signaux correspondants. Les deuxième et quatrième courbes représentent les signaux reçus; dans les deux cas, ils sont bien formés et facilement lisibles.

Les essais effectués ensuite prouvèrent que les nouveaux dispositifs permettaient également de desservir les câbles transocéaniques à l'aide de l'appareil imprimeur Siemens et Halske. La vitesse atteinte précédemment fut même légèrement dépassée : on est arrivé, en effet, à recevoir dans de bonnes conditions à la vitesse de *900 signaux par minute.*

36. Exploitation en duplex des câbles Krarup. — Sur les câbles Krarup, le service en duplex se trouve compliqué, du fait que l'inductance varie avec l'intensité des courants. Il résulte de cette particularité que les courants de départ et d'arrivée ne se superposent pas l'un à l'autre d'une manière simple : ils se contrarient mutuellement. Chacun d'eux modifie l'inductance du câble, qui influe sur l'autre. Cette influence (modulation) est d'autant plus marquée que l'inductance due au courant, c'est-à-dire la perméabilité, dépend davantage de l'intensité du champ. Nous avons ici une nouvelle preuve de l'importance de cette particularité signalée plus haut. L'influence qu'elle exerce sur la vitesse de transmission réalisable sur un câble exploité en duplex, ne peut être vérifiée rigoureusement au cours d'essais poursuivis au laboratoire : il faudrait procéder à des mesures sur un câble télégraphique déjà posé. L'administration allemande des télégraphes a récemment commandé un câble Krarup d'inductance élevée et dont la longueur électrique doit être égale à 10. C'est sur une section achevée de ce long câble que seront reprises les recherches, encore incomplètes.

37. Conclusion. — Nos travaux ont conduit aux conclusions suivantes : *Il est possible de construire des câbles sous-marins d'un nouveau modèle, qui ne sont guère plus lourds ni plus chers que les câbles des types usuels, mais dont le rendement est quintuplé et dont l'exploitation peut se faire au moyen d'appareils rapides imprimeurs.*

En terminant, je tiens à remercier MM. U. Meyer, Salinger, Stahl et Wollin, pour leur précieuse collaboration qui m'a permis de mener à bien un travail de cette importance.

SUR LA DÉFINITION ET LA MESURE DU CROSS-TALK,

Par J. CARVALLO,

répétiteur à l'École polytechnique et chef de laboratoire à la Société d'études pour liaisons télégraphiques et téléphoniques à longue distance.

Introduction. — On sait que les progrès de la technique des communications téléphoniques à longue distance ont été retardés autant, sinon davantage, par la difficulté d'empêcher tous les bruits dus aux causes extérieures (courants circulant soit sur les conducteurs d'énergie électrique, soit sur les fils télégraphiques et téléphoniques voisins), que par les complications inhérentes à la transmission elle-même.

L'emploi du système de la combinaison des circuits, qui crée un troisième circuit, dit *combiné* ou *fantôme*, superposé aux deux circuits normaux ou réels, augmente beaucoup les risques d'influence entre circuits téléphoniques.

Si l'on se reporte au montage de ces circuits, on sait en effet qu'il s'agit d'une sorte de pont de Wheatstone dans lequel, non seulement l'induction entre circuits, mais aussi toute imperfection dans l'égalité des impédances et des admittances des différentes branches se traduit par un courant de circulation parasite sur les conducteurs des « diagonales ».

Lorsqu'il s'agit enfin d'un câble à paires multiples extrêmement rapprochées les unes des autres, et dans lesquelles les distances entre fils ne peuvent avoir une régularité et une uniformité absolues, à paires chargées de plus par des bobines dont les enroulements ne peuvent pas non plus être absolument identiques les uns aux autres, on conçoit que les effets dus à l'induction électrostatique, à l'induction électro-magnétique, aux déséquilibres des résistances et des inductances peuvent rapidement devenir gênants : il est bon, à ce sujet, d'indiquer qu'une

conversation devient déjà perceptible à l'oreille avec un bon appareil récepteur quand l'intensité atteint $\frac{1}{700}$ de l'intensité normale de fonctionnement.

Ce qui importe au technicien, tout au moins quand il s'agit de juger de la valeur pratique d'une ligne, c'est l'intensité globale de ces courants parasites causés par un circuit « perturbateur » sur un circuit « perturbé », quelle que soit d'ailleurs leur répartition entre les différentes causes théoriques : c'est ce que les Anglo-saxons appellent le *cross-talk*, qui se traduit en français par l'expression plus longue : mélange de conversations. Le terme anglais est devenu courant en France et nous l'emploierons dans cet article, tout en regrettant qu'on n'ait pas trouvé de mot français ou grécolatin à lui substituer (1).

L'ingénieur qui doit poser un câble, l'administration qui le reçoit, ont donc à se préoccuper de mesurer le cross-talk des circuits les uns sur les autres.

Mais ce cross-talk, comme on le montrera plus loin, n'est pas indépendant des appareils qui servent à le mesurer. Si l'on veut trouver une valeur qui soit vraiment un indicatif de la ligne et qui permette de la comparer à une autre, il faut prendre un certain nombre de précautions.

Laissant totalement de côté l'étude fort complexe du mécanisme intime des diverses causes d'interaction de deux circuits voisins, nous limiterons notre effort à montrer comment il est possible de caractériser le cross-talk par un seul élément physique susceptible d'une définition et d'une mesure absolument précises.

Après avoir rappelé brièvement le principe de l'appareil connu sous le nom de cross-talk-mètre, nous atteindrons notre but en suivant avec de Voogt (2) une voie tracée par Breisig et Kupfmuller (3). Nous décrirons en détail les divers modes opéra-

---

(1) Mentionnons cependant l'expression de *diaphonomètre* employé par la maison Carpentier pour désigner un appareil de mesure de « cross-talk ». On pourrait dire *diaphonie* pour cross-talk.

(2) De Voogt : *Electrician*, 20 mars 1925, p. 332.

(3) Breisig : *E.T.Z.*, 25 août 1921 ; Kupfmuller : *E.T.Z.*, 1921,

toires possibles et terminerons en examinant à ce point de vue les propositions que la commission permanente a décidé, en novembre 1924, de présenter au comité consultatif international des communications téléphoniques à longue distance.

2° Possibilité d'une définition rigoureuse du cross-talk. — Tous les téléphonistes connaissent le *cross-talk-mètre*, étudié par la Western Electric C° (1), adopté par l'office britannique, construit par la maison Cambridge and C° de Londres et dont la maison Carpentier vient d'établir en France un équivalent sous le nom de *diaphonomètre*. Le principe de cet appareil dérive d'une idée tout à la fois simple et empirique, dont la technique s'est contenté pendant longtemps, et qui est la suivante.

Un opérateur parle sur le circuit « perturbateur » (2) ; un second opérateur, écoutant dans un récepteur branché sur le circuit « perturbé », entend un léger son, dû au passage, dans son écouteur, d'un très faible courant i. L'idée de comparer la transmission de l'un à l'autre des opérateurs à celle que permettrait de réaliser un câble de très grand affaiblissement s'est tout naturellement présentée à l'esprit, et l'on convient de caractériser le phénomène de cross-talk entre les deux circuits proposés par l'affaiblissement correspondant, où mieux par la longueur d'une ligne artificielle étalon donnant le même affaiblissement. La notion de cross-talk se précise ainsi sous la forme du rapport du courant i au courant I correspondant envoyé dans le circuit perturbateur par le premier opérateur, ou par la source qui peut lui être substituée. On procédera à la mesure en substituant au système étudié, entre les deux opérateurs, le cross-talk-mètre dont la fonction est double : présenter à l'opérateur 1 une impédance telle que celui-ci lui fournisse le même courant I qu'au circuit perturbateur, ne transmettre à l'écouteur de l'opérateur 2

p. 1482 ; Luschen et Kupfmuller : *publication Siemens Konzern*, 1923, p. 401 ; Luschen et Kupfmuller : *Archiv. für Electrotechnik*, 1923, n° 2.

(1) Voy. Hill, *La transmission téléphonique* (Gauthiers-Villars, éditeur), et Valensi : *A.P.T.T.*, sept. 1919, p. 416.

(2) On sait que, pour les essais, il est commode de remplacer cet opérateur par un générateur harmonique, ce qui permet de procéder aux mesures à diverses fréquences audibles.

qu'une fraction réglable et connue de ce courant I. Le réglage s'effectue alors par égalité des sons transmis par la ligne et le cross-talk-mètre. Pour satisfaire à ces conditions, il a suffi de donner au cross-talk-mètre la forme d'un simple potentiomètre qui, adapté à son écouteur, donne par une lecture directe le rapport $\frac{i}{I}$ évalué en millionièmes. L'écouteur lui-même est du type employé normalement dans l'exploitation téléphonique.

Telle qu'elle vient d'être résumée, la méthode a l'avantage d'une grande simplicité. Elle était pratiquement suffisante à une époque où, le câble téléphonique n'étant pas encore entré dans la pratique, lignes aériennes et récepteurs présentaient des caractéristiques ne s'écartant guère de certaines valeurs standard. La méthode correspondait presque toujours aux conditions même de l'exploitation et donnait, d'une installation à une autre, des résultats assez comparables. De ces conditions de travail vient la valeur 666 ohms donnée à l'impédance du cross-talk-mètre et qui est précisément celle d'une ligne aérienne de gros diamètre. A l'époque actuelle, au contraire, l'utilisation de plus en plus répandue des câbles téléphoniques et des circuits combinés conduit, pour les impédances des divers circuits, à des valeurs notablement plus fortes, différant non seulement d'une installation à une autre, mais encore souvent d'un type de circuit à un autre dans une même installation.

Or la méthode exposée plus haut suppose essentiellement que le cross-talk-mètre reçoit de la source le même courant que le circuit perturbateur; les nouvelles conditions exigent à tout le moins une adaptation de l'impédance du cross-talk-mètre à chaque cas particulier. L'analyse qui va suivre montre que d'autres facteurs, l'impédance de l'écouteur entre autres, interviennent d'une façon importante dans le phénomène du cross-talk, et qu'il n'est plus possible de s'en tenir à une méthode aussi simpliste.

Bien que le cross-talk soit en lui-même un phénomène extrêmement complexe résultant des irrégularités de construction d'une ligne, il n'en obéit pas moins à certaines lois rela-

tivement simples qui constituent toute la clef de la question. Ces lois ne sont qu'une manifestion, dans un cas particulier, des propriétés bien connues des systèmes quadripoles. Soient, en effet, sur un réseau téléphonique, A et A′ les deux bornes du circuit « perturbateur », B et B′ les deux bornes sur lesquelles se fait l'écoute sur le circuit « perturbé ». Ces deux couples de points sont reliés l'un à l'autre par un réseau complexe d'impédances, de couplages électromagnétiques, à travers lesquels s'effectue une véritable propagation. Le courant i en BB′, tout faible qu'il soit, n'en reste pas moins lié à la différence de potentiel U appliquée en AA′ par une loi complexe mais parfaitement définie.

On sait depuis Breisig qu'entre les tension et courant U et I au départ et les tension et courant u et i à l'extrémité d'un quadripole, si complexe soit-il, on peut écrire les deux relations (1) :

$$\text{I} \quad \begin{cases} U = u\sqrt{\dfrac{Z_1}{Z_2}} \operatorname{ch} \Sigma + i\sqrt{Z_1 Z_2} \operatorname{sh} \Sigma, \\ I = i\sqrt{\dfrac{Z_2}{Z_1}} \operatorname{ch} \Sigma + \dfrac{u}{\sqrt{Z_1 Z_2}} \operatorname{sh} \Sigma, \end{cases}$$

dans lesquelles Z_1, Z_2, Σ sont trois constantes complexes caractéristiques du système proposé : Z_1 et Z_2 sont appelés les *impédances caractéristiques terminales* du système, Σ son *coefficient de propagation*. Enfin la partie réelle α de Σ en est le coefficient d'affaiblissement.

Pour voir comment ces trois constantes caractéristiques interviennent dans le problème du cross-talk, il est utile de rappeler leurs significations physiques respectives. Qu'on sup-

(1) Ces équations s'appliquent aussi bien à un système complexe constitué par des éléments de lignes individuellement homogènes connectés directement en série ou en parallèle, qu'à des tronçons de lignes n'ayant les uns avec les autres que de simples couplages diélectriques ou magnétiques, à deux tronçons reliés l'un à l'autre par un transformateur, par exemple. Elles s'appliquent donc au cas qui nous accupe. Toutefois ces équations ne sont valables que dans la mesure où l'on peut négliger les variations de la perméabilité en fonction de l'intensité, ainsi que l'hystérésis des milieux intérressés. On sait dans quelle mesure cette approximation nous est permise.

pose, comme c'est le cas dans le problème en vue, que l'affaiblissement du quadripole soit considérable, Σ étant très grand, on peut écrire :

$$\operatorname{sh} \Sigma = \operatorname{ch} \Sigma = \frac{e^{\Sigma}}{2}.$$

Si en outre $R = \frac{u}{i}$ désigne l'impédance du récepteur disposé entre B et B', les équations I s'écriront :

$$\text{II} \quad \begin{cases} U = u \dfrac{e^{\Sigma}}{2} \sqrt{\dfrac{Z_1}{Z_2}} \dfrac{R + Z_2}{R}, \\ I = i \dfrac{e^{\Sigma}}{2} \dfrac{R + Z_2}{\sqrt{Z_1 Z_2}}, \end{cases}$$

ces formules étant à rapprocher de celles qu'on obtiendrait dans le cas d'une ligne homogène, qui sont, comme on le sait :

$$\begin{cases} U = u \dfrac{e^{\Sigma}}{2} \dfrac{R + Z}{R} \\ I = i \dfrac{e^{\Sigma}}{2} \dfrac{R + Z}{R}. \end{cases}$$

L'impédance réelle du système vu par AA' a pour valeur :

$$\frac{U}{I} = \frac{u}{i} \times \frac{Z_1}{R} = Z_1,$$

et on voit aisément que Z_2 mesure l'impédance réelle que présenterait le système s'il était alimenté en BB'. La signification physique de Σ résulte de même directement des équations II ; qu'on y fasse, en effet, $R = Z_2$, il vient :

$$\text{III} \quad \begin{cases} u = U \sqrt{\dfrac{Z_2}{Z_1}} e^{-\Sigma}, \\ I = I \sqrt{\dfrac{Z_1}{Z_2}} e^{-\Sigma}, \end{cases}$$

d'où résulte, comme on le sait, entre les puissances aux deux extrémités de la ligne, la relation :

$$\text{IV} \qquad p = P e^{-2\alpha}.$$

Ces équations d'un quadripole dissymétrique sont les mêmes

que celles que s'appliqueraient à une ligne homogène d'impédance caractéristique, Z_1 et coefficient de propagation Σ, à l'extrémité de laquelle serait disposé un transformateur idéal de rendement unité et de rapport de transformation $\frac{n_2}{n_1} = \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}}$, débitant sur une impédance terminale égale à Z_2.

Bien plus, un quadripole étant donné, il est toujours possible de faire varier à volonté ses deux impédances terminales apparentes en disposant à chacune de ses extrémités un transformateur parfait de rapport de transformation approprié. Il est facile de voir que, tant que le système est chaque fois bouclé, du côté du récepteur, sur l'impédance caractéristique correspondante, le rendement en énergie n'est pas modifié. Le coefficient d'affaiblissement reste donc immuable, bien que les rapports $\frac{u}{U}$ et $\frac{i}{I}$ puissent prendre les valeurs les plus diverses.

Ce terme réel α de la constante Σ, seul indépendant des conditions d'observations, est donc également le seul élément qui puisse caractériser un système de deux circuits voisins au point de vue du cross-talk. Non seulement sa connaissance permet de calculer en toute circonstance le courant de cross-talk, mais encore il est susceptible d'une interprétation physique remarquable : c'est la moitié du logarithme népérien, changé de signe, du rendement énergétique de la transmission lorsque le circuit perturbé est bouclé sur une impédance égale à son impédance caractéristique terminale.

Les formules ci-dessus sont parfaitement conformes aux faits d'expérience, et il ne semble pas qu'on puisse opposer d'objection sérieuse à l'adoptation du terme α comme mesure du cross-talk. Une telle convention ne nécessiterait même, comme on va le voir, aucune modification fondamentale dans les modes opératoires précédemment utilisés. Il suffit d'y introduire des conditions d'adaptation fort simples des éléments mis en jeu dans les mesures, ou à défaut des formules de correction appropriées.

3° Méthodes possibles de mesures de cross-talk. — Les formules ci-dessus montrent combien est imprécise la méthode simpliste rappelée au début; elles indiquent en outre tout naturellement la marche à suivre pour obtenir la valeur exacte de la constante d'affaiblissement α. De la première équation II, on tire, en remplaçant u par sa valeur Ri

$$\text{V} \qquad i = 2 U e^{-\Sigma} \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} \cdot \frac{1}{(R + Z_2)},$$

qu'il y a lieu de raprocher de l'équation correspondante relative à une ligne symétrique :

$$i = 2 U e^{-\Sigma} \frac{1}{R + Z}.$$

Le courant à la sortie dépend de l'impédance du récepteur, comme le courant d'un générateur de force électromotrice $2 U e^{-\Sigma} \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}}$ et de résistance intérieure Z_2 dépend de la résistance extérieure R, sur laquelle il débite. De là la nécessité de tenir compte, dans toute mesure de cross-talk, de l'impédance du récepteur utilisé.

De la deuxième équation II, on tire, en supposant, pour simplifier, $R = Z_2$:

$$\text{VI} \qquad \frac{/i/}{I} = e^{-\alpha} \sqrt{\frac{/Z_1/}{/Z_2/}},$$

qui montre clairement que, même quand le circuit pertubé est bouclé sur son impédance caractéristique, la comparaison des intensités au départ et à l'arrivée ne donne la véritable valeur du cross-talk que si les deux impédances caractéristiques extrêmes sont égales. Cette remarque est particulièrement importante dans le cas du cross-talk d'un circuit combiné sur un circuit réel ou réciproquement, car alors, sauf précautions spéciales, les impédances Z_1 et Z_2 sont notablement différentes l'une de l'autre.

Bien entendu, lorsque ces conditions particulières ne sont pas remplies, il est possible de déduire α de la valeur mesurée

de $\frac{i}{I}$ en appliquant la deuxième équation II complète. La correction à apporter exige la connaissance de Z_1, Z_2, R.

Il est bien clair d'ailleurs que, du fait du couplage extrêmement faible des circuits pertubateurs et perturbé, les impédances terminales Z_1 et Z_2 ne sont autres que les impédances réelles dans les conditions de l'expérience des deux circuits considérés. Celles-ci dépendent elles-mêmes de la façon dont ces circuits sont bouclés à l'extrémité autre que celle sur laquelle on opère. Mais ces dernières impédances ne figurent pas explicitement dans les formules, qui leur supposent des valeurs bien déterminées. Ces impédances peuvent influer sur l'affaiblissement α lui-même, mais l'expérience prouve que, dès que les tronçons de lignes étudiés ne sont pas très courts, cette influence est très faible. Il sera d'ailleurs rationnel de donner à ces impédances des valeurs correspondant aux conditions de fonctionnement normal de la ligne.

Il est possible, enfin d'éviter d'avoir à faire subir aux données d'expérience la correction formulée ci-dessus, grâce à un artifice qui n'est, il est vrai, possible que si l'on dispose de transformateurs de rendement assez élevé, de fuites assez faibles pour qu'on puisse les assimiler à des transformateurs parfaits et assez bien équilibrés pour qu'ils puissent, sans perturbation appréciable, être utilisés à la constitution des circuits fantômes. Il est actuellement possible de se procurer de bons translateurs qui satisfont suffisamment à ces conditions.

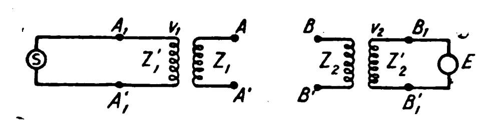


Fig. 1.

Qu'on dispose, entre la source et le circuit perturbateur d'impédance Z_1, un transformateur parfait de rapport de transformation $\frac{n'_1}{n_1} = \nu_1$ (fig. 1); entre le circuit perturbé d'impédance Z_2 et l'écouteur, un autre transformateur de rapport de transformation $\frac{n'_2}{n_2} = \nu_2$, on réalisera, entre les deux nouvelles paires

de bornes A_1, A'_1 et B_1, B'_1, un système de même rendement énergétique, par conséquent de même constante d'affaiblissement que le premier, mais d'impédances terminales :

$$Z'_1 = \frac{Z_1}{\nu_1^2}, \quad Z'_2 = \frac{Z_2}{\nu_2^2}.$$

En appliquant à ce nouveau système les équations II dans lesquelles U, I, u, i se rapportent maintenant aux bornes A_1, A'_1, B_1, B'_1, on aura en modules :

$$\text{VII} \qquad \frac{i}{I} = e^{-\alpha} \frac{2\sqrt{Z'_1 Z'_2}}{R + Z'_2} = e^{-\alpha} \frac{\nu_2}{\nu_1} \frac{2\sqrt{Z_1 Z_2}}{(\nu_2^2 R + Z_2)}.$$

Les conditions suffisantes et nécessaires pour que l'on puisse écrire : $\alpha = \mathrm{Log}_e \frac{I}{i}$,

sont : $Z'_1 = Z'_2 = R$,

c'est-à-dire : $\frac{\nu_1^2}{\nu_2^2} = \frac{Z_1}{Z_2}$; $R\nu_2 = Z_2$. VIII

On peut imaginer une infinité de systèmes de valeurs de ν_1, ν_2, R satisfaisant à ces conditions, mais dans chacun d'eux les trois éléments doivent être *adaptés* les uns aux autres.

4° Dispositions pratiques. — Les formules qui viennent d'être établies permettent d'imaginer un assez grand nombre de dispositions différentes susceptibles de donner toutes la valeur vraie du cross-talk. Théoriquement équivalentes, elles diffèrent surtout par leurs détails de mise en œuvre. Elles se ramènent d'ailleurs en général à des dispositions actuellement en usage. Il n'est pas inutile de résumer ici les trois principales.

a) *Cross-talk-mètre série.* — On compare directement le courant de cross-talk i au courant d'alimentation I. Le cross-talk-mètre, du type Western ou du même genre, est alors disposé en série sur l'alimentation (fig. 2), entre les deux moitiés d'un transformateur à écran pour respecter la symétrie de répartition des potentiels sur le câble. Il n'est soumis à aucune condition spéciale autre que celle de faire passer dans l'écouteur T une fraction connue $n.10^{-6}$ du courant d'alimentation I. Lorsque

l'égalité des sons est obtenue dans les deux positions du commutateur c, on a :

IX
$$\alpha = \text{Log}_e \left[\frac{1}{n.10^{-6}} \cdot \frac{2\sqrt{Z_1 \; Z_2}}{R+Z_1} \right],$$

qui se réduit à :

X
$$\alpha = \text{Log}_e \frac{1}{n.10^{-6}},$$

si l'on a la précaution d'intercaler sur l'alimentation ou sur

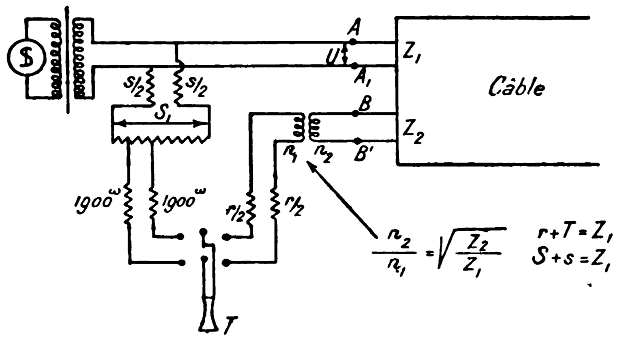


Fig. 2.

l'écoute un transformateur adaptant l'impédance d'entrée à l'impédance de sortie ou réciproquement et de disposer en série avec l'écouteur une résistance complémentaire r adaptant l'impédance du circuit d'écoute, comme il a été dit plus haut [1].

b) *Cross-talk-mètre parallèle.* — La disposition étant celle de la figure 3, on a, en l'absence d'éléments adapteurs et en désignant par S la résistance du circuit principal du cross-talk-

(1) Les résistances du cross-talk-mètre étant calculées pour s'adapter à un type d'écouteur bien déterminé, il importe que la résistance additionnelle ne soit disposée en série avec l'écouteur que lorsque celui-ci est connecté au câble. Ce résultat est atteint par la disposition de la figure. Comme, en outre, il importe essentiellement de ne pas détruire la symétrie du circuit d'écoute la résistance additionnelle r sera constituée de deux éléments disposés de part et d'autre de l'écouteur. Enfin si la résistance du cross-talk-mètre et l'impédance d'entrée du circuit perturbateur sont par trop différents, il peut arriver que, à cause des capacités internes du transformateur à écran, le courant ne soit pas le même dans le cross-talk-mètre et la ligne. On éviterait, par exemple, cet inconvénient en donnant au cross-talk-mètre une résistance égale à l'impédance d'entrée du circuit perturbateur.

mètre et i' le courant perçu à l'écouteur à travers le cross-talk-mètre :

$$i' = n.10^{-6}.\frac{Z_1}{S}I;$$

et lorsque l'égalité des sons est obtenue :

$$\text{XI} \qquad \alpha = \text{Log}_e\left[\frac{1}{n.10^{-6}}\cdot\frac{2S}{R+Z_2}\cdot\sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}}\right],$$

qui se réduit encore à la forme X si l'on ajoute non seulement le transformateur adaptateur et les deux résistances $r/2$ utilisés

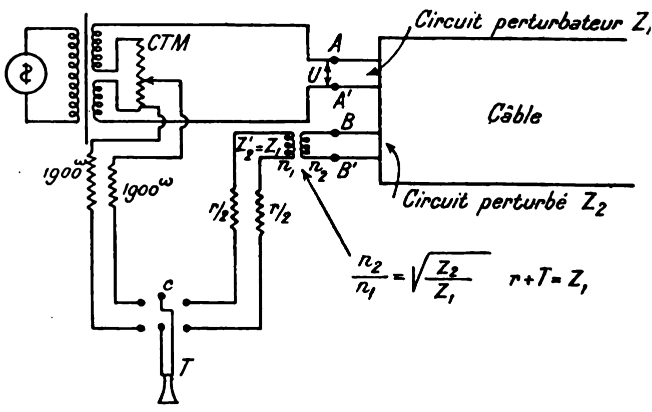


Fig. 3.

dans la première méthode, mais encore deux résistances $s/2$, telles que $S + s = Z_1$, destinées à adapter l'impédance du circuit principal du cross-talk-mètre à l'impédance d'entrée du circuit perturbateur.

c) *Ligne artificielle d'affaiblissement et impédance variable de Kupfmuller* (1). — La ligne artificielle de Kupfmuller est constituée par un réseau de résistances pures CC′, DD′, conforme à la figure 4. R_1 R_2 R_3 sont des résistances variables, r_1 et r_2 des résistances fixes.

L'alimentation étant effectuée en CC′ ou moyen d'une différence de potentiel U, le récepteur de résistance R branché entre

(1) Kupfmuller : *E. T. Z.*, 1921, p. 1482.

D et D′ reçoit un courant i. On démontre que, si R_1 et R_3 sont assez grandes par rapport à r_1, r_2, R_2, le courant i a pour valeur suffisamment approchée :

$$i = U \frac{2}{R_3 + R} \cdot \frac{1}{2 \frac{R_1}{r_1} \cdot \frac{R_2 + r_1 + r_2}{r_2}} \cdot$$

Qu'on pose $R_3 = Z$, et

$$\text{XII} \qquad e^a = 2 \cdot \frac{R_1}{r_1} \cdot \frac{R_2 + r_1 + r_2}{r_2},$$

on pourra écrire :

$$\text{XIII} \qquad i = U e^{-a} \frac{2}{R + Z} \text{ (1)}.$$

L'appareil est construit de telle façon qu'on puisse régler à volonté Z et lire à chaque instant sa valeur en agissant sur R_3; R_1 et R_2 sont en outre fractionnées de manière à ce que la valeur de a soit lue directement sur l'appareil au moyen de deux cadrans, correspondant respectivement à R_1 et R_2, ceci étant rendu possible du fait que l'on a :

$$a = \mathrm{Log}_n\, 2 \frac{R_1}{r_1} + \mathrm{Log}_n \frac{R_2 + r_1 + r_2}{r_2}.$$

En outre, du fait des grandeurs respectives déjà indiquées de R_1, R_2, r_1 et r_2, le cadran correspondant à R_1 permet de faire varier a par unités alors que le cadran correspondant à R_2 donne la partie fractionnaire de a.

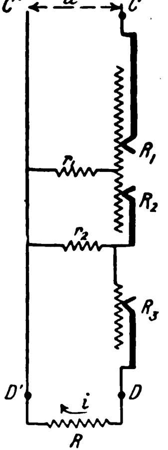


Fig. 4.

Qu'on substitue un tel système au cross-talk-mètre dans le schéma parallèle de la figure 3, dans lequel, tout d'abord, on supposera supprimés le transformateur et les résistances complémentaires $r/2$; qu'on donne

(1) En réalité, le système constitue un quadripole dissymétrique qui, du fait de la petitesse des résistances r_1, r_2, R_2, présente des résistances terminales R_1 et R_3 et dont le coefficient d'affaiblissement serait :

$$A = \mathrm{Log}_e \left[2 \sqrt{\frac{R_2}{R_1}} \times \frac{R_1}{r_1} \cdot \frac{R_2 + r_1 + r_2}{r_2} \right].$$

à Z une valeur égale au module de l'impédance Z_2 du circuit perturbé ; qu'on règle enfin l'affaiblissement a de façon à obtenir l'égalité de son avec l'écoute BB′, on aura :

$$U e^{-a} \frac{2}{R+Z_2} = I e^{-\alpha} . \ 2 \frac{\sqrt{Z_1 Z_2}}{R+Z_2} ;$$

et, comme : $I = \frac{U}{Z_1}$,

il viendra finalement : $e^{\alpha} = e^{a} \sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}}$.

Cette équation est valable quelles que soient Z_2 et l'impédance R de l'écouteur, pourvu que ces deux quantités aient même valeur dans l'écoute BB′ que dans l'écoute DD′. La méthode ne comporte donc plus d'autres précautions que celle qui résulte de l'inégalité des impédances Z_1 et Z_2. Si ces deux quantité sont égales, α est lu directement sur la ligne artificielle. Si enfin $Z_1 \neq Z_2$, on pourra, soit faire la correction, soit faire appel au transformateur adaptateur déjà utilisé pour continuer à bénéficier de l'avantage d'une lecture directe sans correction.

Remarque. — Une difficulté nouvelle surgit lorsqu'on se pose le problème de la mesure du cross-talk dans le cas où l'on alimente le circuit perturbateur à une extrémité du câble et qu'on écoute sur le circuit perturbé à l'autre extrémité. Aucune des trois méthodes ci-dessus n'est utilisable, car elles supposent toutes qu'alimentation et écoute se font en un même lieu. Il faudra alors opérer comme il suit. L'alimentation s'effectuant par exemple en AA′ à l'extrémité gauche du câble sur un circuit d'impédance Z_1 (fig. 5), l'extrémité droite $B_1B'_1$ du circuit perturbé d'impédance Z_2 est reliée à une branche d'écoute d'impédance Z_1 par intermédiaire d'un transformateur de rapport de transformation $\frac{n_1}{n_2} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$.

Le courant i passant dans l'écouteur a pour valeur, d'après II : $i = \frac{U}{Z_1} e^{-\alpha}$. L'extémité droite $A_1A'_1$ du circuit perturbateur est d'autre part reliée à un appareil du genre du cross-talk-mètre

Western, dont la résistance totale $S+s$ est encore réglée à la valeur Z_1. On a, en utilisant les notations de la figure 4 et désignant par σl l'affaiblissement du circuit perturbateur :

$$I'_1 = \frac{U}{Z_1} e^{-\sigma l}; \qquad i' = n.10^{-6}.I'_1 = n.10^{-6} e^{-\sigma l} \frac{U}{Z_1}$$

Fig. 5.

Qu'on réalise l'égalité des sons dus à i et i', on aura :

$$a = \sigma l + \text{Log}_e \frac{1}{n.10^{-6}}.$$

4° **Cahiers des charges.** — Les considérations développées ci-dessus indiquent assez clairement les éléments du problème pour qu'il soit inutile d'insister sur les termes à introduire au sujet du cross-talk-mètre dans un cahier de charges idéal. Toutefois nous ne saurions terminer cette étude sans examiner attentivement le texte que la commission permanente a décidé, lors de ses dernières assises (novembre 1924), de proposer au Comité international des communications téléphoniques à longue distance.

Ce texte, en effet, sans définir explicitement ce qu'il entend par « résultat exact », contient les deux passages suivants :

a) La puissance absorbée par le potentiomètre ou l'appareil équivalent devra être égale à la puissance absorbée par le circuit perturbateur ; dans le cas contraire, le résultat exact devra pouvoir être déduit de la lecture par une correction simple.

b) La fraction de la puissance initiale parvenant à l'écouteur téléphonique devra être approximativement la même

pour les deux positions d'écoute, c'est-à-dire que l'impédance du circuit perturbé et celle de la ligne artificielle ou son équivalent devront être égales.

Bien qu'on y sente la préoccupation de tenir compte de l'influence, sur les résultats de la mesure, des éléments accessoires mis en jeu, il est à craindre qu'à l'application ce texte ne soulève des difficultés d'interprétation.

Si, en effet, l'alinéa *b* s'applique assez bien à la ligne artificielle de Kupfmuller, au sujet de laquelle il est possible de définir une véritable impédance de sortie, il n'en est plus de même du simple potentiomètre série ou parallèle où la notion d'impédance de sortie n'a plus de sens pratique.

L'alinéa *a*, inversement, est facile a adapter au cross-talk-mètre Western, dont l'impédance d'entrée est au contraire bien définie et fixes au cours des mesures. Mais ne semble-t-il pas incompatible avec l'élégante disposition de Kupfmuller, dont l'impédance d'entrée R_1 est liée directement à l'affaiblissement mesuré par une loi exponentielle (XII) et dont il est impossible de fixer la puissance absorbée $\frac{U^2}{R_1}$ à une valeur donnée *a priori*?

Ces difficultés sont faciles à éviter en s'inspirant des résultats acquis. Pour le montrer, nous ne saurions mieux faire que de mettre la conclusion même de l'exposé qui précède sous une forme susceptible de figurer dans un cahier des charges type. Mais, bien entendu, nous ne donnons le texte ci-dessous qu'à titre d'exemple et pour mieux préciser notre pensée.

Le cross-talk entre deux circuits se définit en assimilant le réseau d'impédance et de couplages qui relient les bornes d'entrée du circuit perturbateur aux bornes de sortie du circuit perturbé, à une ligne de transmission éthérogène, de même rendement énergétique et d'impédances caractéristiques terminales Z_1 et Z_2 égales respectivement à l'impédance réelle du circuit perturbateur vu de ses bornes d'entrée et à celle du circuit perturbé vu de ses bornes de sortie.

L'intensité du cross-talk correspondant à une fréquence

donnée est mesurée par le coefficient d'affaiblissement α, ou l'exponentielle correspondante $e^{-\alpha}$, de cette ligne équivalente.

Dans le cas particulier où sont égales entre les deux impédances terminales Z_1 et Z_2 et aussi l'impédance R sur laquelle est bouclé le circuit perturbé, le nombre fractionnaire $e^{-\alpha}$, qu'on aura avantage à exprimer en millionièmes, est égal au rapport de l'intensité i extraite du circuit perturbé à l'intensité I fournie au circuit perturbateur. La mesure du cross-talk se réduit alors à la mesure directe de ce rapport.

Quand ces conditions ne sont pas satisfaites, la valeur vraie du cross-talk se déduit de la mesure directe de $\frac{i}{I}$ ou de celle du rapport de i à la tension appliquée U par l'une ou l'autre des formules :

$$e^{-\alpha} = \frac{i}{I} \cdot \frac{R+Z_2}{2} \cdot \frac{1}{\sqrt{Z_1 Z_2}} = \frac{i}{U} \frac{R+Z_2}{2} \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}.$$

Pour l'exécution de la mesure proprement dite, on alimentera simultanément, au moyen d'un même générateur, le circuit perturbateur et un potentiomètre, ligne artificielle, ou tout autre appareil permettant d'affaiblir la puissance alternative dans des proportions connues, ce dernier pouvant être disposé soit en série, soit en parallèle avec la ligne. Un même écouteur sera branché successivement à l'extrémité du circuit perturbé et à celle dudit appareil, qui sera réglé jusqu'à égalité de son, et par suite de courant, dans les deux positions d'écoute. Le rapp $\frac{i}{I}$ dans la disposition série, $\frac{i}{U}$ dans la disposition parallèle résulteront du réglage de l'appareil affaiblisseur et permettront de calculer dans tous les cas $e^{-\alpha}$.

Il pourra être commode, enfin, d'adapter les impédances Z_1, Z_2, R les unes aux autres au moyen de transformateurs appropriés, pourvu que ceux-ci aient un rendement assez élevé et soient assez bien équilibrés pour ne pas modifier les résultats de la mesure.

25 mai 1925.

BREVETS D'INVENTION.

28.429. — 1re addition au brevet nº 566.530. — Dispositif de connexion pour appareil récepteur de T.S.F. — M. William Dubilier — Angleterre.

28.470. — 6e addition au brevet nº 568.149. — Système téléphonique automatique pour grand réseau avec traducteur et dispositif de contrôle. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — France.

28.553. — 1re addition au brevet nº 580.443. — Système d'antennes à dirigeabilité indépendante de l'espace occupé. — Société française Radio-électrique. — France.

28.570. — 1re addition au brevet nº 549.793. — Poste téléphonique. — MM. Georges-Charles Bouchery et Abel-Joseph Blun. — France.

28.585. — 2e addition au brevet nº 575.508. — Procédés et montages permettant d'alimenter les audions par du courant alternatif industriel. — M. Raymond Depriester. — France.

28.589. — 2e addition au brevet nº 571.082. — Variomètre à combinaisons à grande variation et de faible encombrement. — M. Gabriel Pelletier. — France.

28.591. — 1re addition au brevet nº 579.612. — Circuit à double amplification. — M. Réginald de la Rue. — France.

28.610. — 2e addition au brevet nº 579.612. — Circuit à double amplification. — M. Réginald de la Rue. — France.

28.626. — 3e addition au brevet nº 517.729. — Perfectionnements apportés aux bureaux centraux téléphoniques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

Le Gérant,

LÉON EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS. — MCMXXV

14e ANNÉE. — N° 10. OCTOBRE 1925. PRIX : 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 RUE THENARD PARIS, Ve.

Prix de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger.......... 4 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES.

AVIS.

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VIIe.

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

LA TRANSMISSION TÉLÉPHONIQUE DANS UNE GRANDE CITÉ MODERNE ET DANS SA BANLIEUE ENVISAGÉE AU POINT DE VUE ÉCONOMIQUE,

Par L. AGUILLON ET G. VALENSI,
Ingénieurs en chef des Postes et Télégraphes.

Pour donner une idée de l'importance des problèmes économiques posés par l'établissement, dans une grande cité moderne et dans sa banlieue, d'un réseau téléphonique procurant des communications rapides et d'une bonne efficacité de transmission, on peut prendre comme exemple une capitale européenne : Paris et ses environs. La population actuelle de la ville de Paris est de 3 millions d'habitants environ; la population des faubourgs et des communes de banlieue comprises dans les limites de la future région téléphonique parisienne (comprenant 51 des 79 communes du département de la Seine et 3 communes du département de Seine-et-Oise) est de 1 million 350.000 habitants. Actuellement la région parisienne ainsi définie compte 134.000 abonnés, soit 110.000 postes téléphoniques à l'intérieur des fortifications et 24.000 à l'extérieur, ce qui fait environ 3,4 téléphones par 100 habitants. Dans 10 ans, en 1935, il est probable que la population de la région parisienne atteindra 4 millions 760.000 habitants en supposant que la population ne varie pas à l'intérieur des fortifications mais s'accroisse de 30 % environ à l'extérieur (1). Si l'on admet que le nombre des abonnés augmentera de 8 % par an dans Paris et de 9 % par an en banlieue, le développement téléphonique de la région parisienne atteindra en 1935 8 téléphones par 100 habi-

(1) A l'intérieur des fortifications de Paris, il n'y a pas lieu de prévoir d'accroissement de la population, car la limite de saturation urbaine de 500 habitants par hectare couvrable est déjà atteinte.

tants dans Paris (à l'intérieur des fortifications actuelles) et 3,4 téléphones par 100 habitants en banlieue (à l'extérieur des fortifications) ; ce développement téléphonique est inférieur au chiffre déjà atteint par de nombreuses villes étrangères (voir l'annexe 1 ci-jointe) ; par suite, nos hypothèses sont très modérées.

Pour faire face à un tel développement téléphonique, il sera probablement nécessaire de poser dans Paris 196.000 kilomètres de lignes d'abonnés nouvelles et 135.000 kilomètres de lignes auxiliaires nouvelles entre bureaux téléphoniques (y compris les lignes intermédiaires reliant les bureaux urbains au bureau interurbain) ; dans le reste de la région parisienne (banlieue), il faudra probablement poser 36.000 kilomètres de lignes d'abonnés nouvelles et 25.000 kilomètres de lignes auxiliaires nouvelles. La dépense à prévoir pour ces nouvelles lignes peut être évaluée à 224.000.000 de francs pour Paris et 56.000.000 de francs pour la banlieue, soit au total 280.000.000 de francs à dépenser en 10 ans.

Le prix des appareils d'abonnés nouveaux peut être évalué d'autre part à 33.230.000 francs, à raison de 200 francs par abonné nouveau ; à ce prix des nouveaux appareils, il faut ajouter le prix des postes téléphoniques d'un modèle nouveau adapté à l'exploitation automatique, qu'il sera nécessaire de substituer aux 134.000 postes existants, lorsque Paris tout entier sera pourvu du téléphone automatique, ce qui fait une dépense supplémentaire de 26.800.000 francs en postes d'abonnés.

Finalement la transformation de la région parisienne en automatique, réalisable dans une dizaine d'années environ, nécessitera probablement, en dehors des frais d'installation des commutateurs automatiques, une dépense totale d'environ 60.000.000 en postes d'abonnés et 280.000.000 en lignes auxiliaires et en lignes d'abonnés.

Quand on considère l'importance des capitaux nécessaires pour entreprendre de tels travaux, on ne saurait trop insister sur l'utilité des études économiques permettant de déterminer parmi toutes les solutions techniques possibles la plus avantageuse, en supposant qu'on ait fixé au préalable les buts à

atteindre, c'est-à-dire la qualité de service désirée (durée moyenne d'établissement de la communication et nombre d'appels non satisfaits à l'heure la plus chargée) ainsi que la qualité de la transmission (volume de son transmis et netteté de la conversation).

Il convient par suite d'apporter le plus grand soin à l'établissement de ce qu'on peut appeler le *plan fondamental* du réseau téléphonique de la région parisienne, dans lequel sont fixés les points suivants :

a) bureaux centraux nécessaires pour satisfaire le plus économiquement possible au service téléphonique prévu, une zone nettement délimitée étant définie pour chacun de ces bureaux centraux ;

b) emplacement le mieux approprié de chaque bureau central dans sa zone, permettant d'assurer le service dans les conditions les plus économiques possibles eu égard au prix des câbles souterrains, au prix des terrains et bâtiments, etc... ;

c) tracés le long desquels on doit poser à l'avance des conduites pour lignes souterraines (permettant de relier les bureaux centraux entre eux ainsi qu'aux abonnés présents et futurs de la manière la plus économique possible) et nombre de voies à ménager à l'avance dans chacune de ces conduites multicellulaires ;

d) types de câbles et de conducteurs aériens à employer dans chaque cas particulier pour la constitution des lignes auxiliaires ou pour l'établissement des lignes d'abonnés.

La base d'un tel plan fondamental est une *étude commerciale de développement de réseau,* c'est-à-dire une prévision pour chaque quartier de la population future et de sa distribution, du caractère de cette population et du marché commercial qu'elle fournira probablement au point de vue des différentes catégories de service téléphonique.

Avant de faire de telles prévisions pour l'avenir il est essentiel de connaître exactement les conditions présentes en ce qui concerne la population actuelle et l'usage qu'elle fait du téléphone ; un recensement de cette population effectué en se pla-

çant au point de vue téléphonique doit être fait avec précision dans tous les îlots d'immeubles de Paris et dans toutes les agglomérations de la banlieue, en classant par exemple les différents usagers du téléphone en abonnés résidentiels, en abonnés de caractère commercial bien que se trouvant dans des zones résidentielles, et en abonnés commerciaux des quartiers d'affaires.

Ce recensement étant fait pour l'époque actuelle, on rapproche les chiffres obtenus des chiffres antérieurs correspondants au cours des dix dernières années écoulées, ce qui permet de tracer, pour les différents districts de la région parisienne la courbe du développement téléphonique au cours des dix dernières années. En prenant en considération tous les renseignements qu'on peut obtenir de diverses sources relativement aux prévisions de développement urbain, et en s'appuyant sur l'expérience acquise dans des cités analogues où le développement téléphonique a atteint dès maintenant un nombre d'abonnés par centaine d'habitants supérieur ou égal à celui que l'on prévoit en 1935 pour la région parisienne, on peut déterminer d'une manière approximative ce que seront vraisemblablement dans les différents districts de Paris et de sa banlieue, en 1927, en 1930, en 1935, le nombre des usagers du téléphone, leur emplacement, la nature du service téléphonique dont ils auront besoin, les heures du jour où ils appelleront de préférence, le nombre probable de leurs appels aux heures les plus chargées, les correspondants les plus usuels qu'ils auront, etc... C'est dans la détermination de toutes ces données pour l'avenir immédiat ou prochain que consiste l'étude de développement de réseau.

Dans de telles études, les prévisions à court terme sont évidemment beaucoup plus précises que les prévisions à long terme qui ne constituent qu'une indication générale. D'ailleurs de telles études doivent être révisées de temps en temps, de manière à corriger en tenant compte des résultats successifs d'expérience au fur et à mesure qu'ils sont acquis, ce qu'il y avait forcément d'un peu vague et hasardeux dans les prédictions initiales.

Des études techniques d'un genre différent doivent être également effectuées, en même temps que les études de développement de réseau, avant de pouvoir songer à faire le projet téléphonique d'une grande cité moderne. Il faut en premier lieu déterminer le type d'appareil (automatique à batterie centrale par exemple) que l'on placera chez tous les abonnés ; cet appareil doit satisfaire à des conditions nombreuses parmi lesquelles l'efficacité et la netteté viennent en première ligne (voir l'annexe 2 ci-jointe). C'est au laboratoire, par des essais téléphonométriques et par différentes mesures électriques, que le type d'appareil d'abonné le plus avantageux doit être choisi. On ne saurait trop insister à ce point de vue sur l'importance, non seulement au point de vue de la qualité du service, mais *surtout au point de vue économique général* d'une bonne efficacité à la réception et à la transmission des appareils d'abonnés. Un calcul approximatif, fourni dans l'annexe 2 ci-jointe (qualités que doit présenter un bon appareil téléphonique d'abonné), montre les économies considérables qu'un léger gain dans l'efficacité des postes d'abonnés permet de réaliser.

D'autres études techniques, sur le caractère desquelles il n'est pas possible d'insister ici, car elles nous entraîneraient en dehors de notre sujet, doivent être également faites avant d'établir le projet téléphonique d'une grande cité afin de déterminer le type d'installation qu'on utilisera dans les bureaux centraux (commutateurs manuels ou automatiques) et, dans le cas de la téléphonie automatique, le système qu'on emploiera uniformément dans toute la région urbaine : mécanismes des présélecteurs, sélecteurs, connecteurs, organes enregistreurs ou répétiteurs, etc.

Le type d'appareil d'abonné et le type de commutateur étant choisis, on doit ensuite fixer les « standards de transmission » à réaliser dans les communications urbaines et dans les communications interurbaines ainsi que les « standards de service » à réaliser dans l'écoulement du trafic urbain.

On appelle « standards de transmission » l'affaiblissement total maximum qui, en service commercial courant, doit exister

entre deux postes d'abonnés quelconques de la région parisienne échangeant entre eux une communication urbaine, ou entre un abonné quelconque de la zone parisienne et le bureau interurbain de Paris dans le cas d'une communication interurbaine (intérieure ou internationale).

Des considérations économiques et commerciales, la parfaite connaissance des besoins du public et une longue expérience téléphonique permettent de déterminer dans chaque cas la qualité de la transmission nécessaire, c'est-à-dire le « standard de transmission » à réaliser.

Dans le cas d'une communication urbaine, la conversation devant être échangée à partir d'endroits où l'on est dérangé par les bruits de la rue ou pour toute autre cause, il est raisonnable d'adopter une transmission de très bonne efficacité. Lorsqu'il s'agit au contraire d'un service téléphonique à très longue distance, on est en droit de s'attendre à ce que les abonnés correspondants disposent d'une cabine ou d'une salle silencieuse afin d'utiliser complètement les faibles courants de conversation dont l'intensité est forcément limitée par les conditions électriques ; si ces abonnés ne disposaient pas de locaux silencieux, il serait commercialement impossible de réaliser entre eux une communication téléphonique eu égard à la grande distance qui les sépare. Par conséquent, dans le cas de la téléphonie à grande distance, on est en droit d'adopter un standard de transmission plus grand que dans le cas de la téléphonie urbaine à courte distance.

Plus le standard de transmission est petit, et meilleure est la conversation, mais aussi plus élevé est le prix de revient de la communication, et plus il est difficile de réaliser une exploitation commerciale. D'autre part, plus le standard de transmission est grand, plus mauvaise est la conversation, et moins il y a de marge pour les petits écarts inévitables entre l'efficacité prévue et l'efficacité réalisée effectivement dans les différentes sections ou organes des réseaux et des installations, par suite plus il faut apporter de soin à l'entretien et à l'exploitation.

La meilleure solution du problème ne peut être atteinte qu'à la suite d'expériences de laboratoire, d'enquêtes commerciales et d'études détaillées, au point de vue du prix de revient, des divers moyens de réaliser pratiquement les différents standards de transmission envisagés.

A titre d'exemple, voici les standards de transmission que l'office britannique a adoptés pour la région londonienne :

a) Communication urbaine : entre deux abonnés du même bureau, 20 miles de câble standard au maximum, — entre deux abonnés de bureaux différents distants l'un de l'autre de 10 miles à vol d'oiseau (15^{km}) : 20 m.c.s. au maximum, — entre deux abonnés reliés à des bureaux différents dont la distance à vol d'oiseau est comprise entre 10 et 50 miles (15 et 75^{km}) : 30 m.c.s. au maximum;

b) Communication interurbaine : l'ensemble des liaisons reliant un abonné quelconque de la région londonienne au bureau central interurbain ne doit pas avoir un équivalent de transmission dépassant 5 m.c.s. lorsque la somme des distances à vol d'oiseau de l'abonné à son bureau et de ce bureau au central interurbain est inférieur à 9 miles ($13^{km},5$), — ou un équivalent de transmission supérieur à 8 m.c.s. lorsque la somme des distances de l'abonné à son bureau et de ce bureau au central interurbain dépasse 9 miles.

L'office britannique a donc adopté plusieurs standards de transmission pour les mêmes catégories de communications (urbaines ou interurbaines); il y a à cela des avantages et des inconvénients. La qualité de la conversation étant meilleure pour les communications urbaines de courte longueur que pour les conversations urbaines de grande longueur, comme le trafic entre bureaux voisins est toujours plus important que le trafic entre bureaux éloignés, le public appréciera davantage les efforts faits par le Post Office britannique pour améliorer les communications londoniennes. Par contre l'établissement de lignes auxiliaires et des lignes d'abonnés entre bureaux, dans une zone où l'on utilise suivant les cas deux standards de trans-

mission différents pour une même catégorie de communications, est évidemment plus compliqué et il peut en résulter des anomalies curieuses, par suite de la configuration géographique de cette zone. Pour réaliser dans certains cas particuliers le standard de transmission adopté, on peut être conduit par exemple à utiliser des conducteurs de lignes d'abonnés de $0^{mm},65$ de diamètre pour les abonnés distants de 0 à 1.500^{m} du bureau central de la zone considérée, des conducteurs de 1^{mm} de diamètre pour les abonnés dont la distance au bureau est comprise entre 1.500 et 3.000^{m} et de nouveau des conducteurs de $0^{mm},65$ de diamètre pour les abonnés dont la distance au bureau central est supérieure à 3.000^{m} étant donné que pour de tels abonnés on admet un standard de transmission plus grand.

Dans la présente étude relative à la région parisienne, prise à titre d'exemple, nous supposerons pour plus de commodité, qu'on a déterminé en tout et pour tout 2 standards de transmission seulement, à savoir :

1° un standard urbain, c'est-à-dire l'équivalent de transmission total y compris les pertes de transmission dans les organes intermédiaires et les pertes par réflexion aux jonctions, entre 2 postes téléphoniques d'abonnés quelconques de la région parisienne échangeant entre eux une communication urbaine ;

2° un standard interurbain, c'est-à-dire l'équivalent de transmission total de l'ensemble des liaisons raccordant un abonné quelconque de la région parisienne aux bornes de départ d'un circuit interurbain quelconque relié au bureau central interurbain de Paris.

En ce qui concerne le standard urbain, nous supposerons pour fixer les idées que l'on adopte dans la région parisienne un affaiblissement total, exprimé en unités naturelles, égal à 2,5, ce qui est compris entre les deux standards britanniques correspondants de 20 m.c.s. et de 30 m.c.s. et ce qui est légèrement supérieur au standard urbain maximum entre deux abonnés de bureaux périphériques de la région de New-York :

23 m.c.s. En ce qui concerne le standard interurbain, le Comité Consultatif International des communications téléphoniques à grande distance a émis en 1924 l'avis suivant : « l'affaiblissement total résultant de l'ensemble des liaisons reliant un abonné au bureau international de son pays, c'est-à-dire au bureau qui lui donne la communication internationale ne doit pas dépasser la valeur 1 (ou 9,5 m.c.s.), y compris les pertes totales jusqu'aux bornes de la ligne internationale. » Ce standard de transmission correspond, en admettant pour l'ensemble des circuits internationaux engagés dans la liaison considérée un affaiblissement de 1,3 soit 12 m.c.s., à un équivalent de transmission total entre 2 abonnés internationaux égal à 3,5 ou 32 m.c.s..

La conversation conformément à un tel standard de transmission est commercialement possible (1) ; mais étant donnés les inévitables bruits parasites qui affectent les communications à grande distance une telle conversation n'est pas d'une qualité excellente. Toutefois, eu égard au grand nombre d'installations d'abonnés et d'installations de bureaux défectueuses en service en Europe actuellement, il n'a pas semblé possible de préconiser un standard de transmission international de meilleure qualité pour le moment. En envisageant la transformation totale du réseau teléphonique de la région parisienne en automatique et le remplacement de toutes les installations existantes par des installations d'un type perfectionné, on est en droit d'escompter un avenir où grâce aux perfectionnements apportés simultanément aux différentes parties des réseaux téléphoniques européens on pourra réaliser (dans une dizaine d'années peut-être), un standard de transmission international meilleur que celui préconisé à titre provisoire par le Comité consultatif international.

Étant donné qu'à cette époque les communications se

(1) On suppose que les appareils d'abonnés utilisés ont, tant à la transmission qu'à la réception, une efficacité au moins égale à celle du poste étalon de l'office britannique ou de l'administration française des Postes et Télégraphes.



feront à une distance de plus en plus grande, il ne semble pas qu'on puisse améliorer le standard de transmission international en réduisant la part relative à l'ensemble des circuits interurbains à une valeur inférieure à 1,3 (12 m.c.s.) ; c'est donc la part relative aux liaisons entre les abonnés et les bureaux internationaux qu'il faudra réduire. Dans cet esprit nous admettrons dans cette étude, comme standard interurbain pour un abonné de la région parisienne qui doit toujours être considéré comme un abonné international éventuel, un nombre inférieur à celui préconisé par le Comité Consultatif International : à savoir 0,9 (environ 8,5 m.c.s.). Par suite, l'ensemble des liaisons comprises entre un abonné quelconque de la région parisienne et les bornes d'un circuit interurbain relié au central interurbain de Paris doit avoir, d'après notre hypothèse, un équivalent de transmission au plus égal à 0,9 y compris les pertes dans le central interurbain ainsi que dans le bureau urbain qui dessert l'abonné considéré. En admettant pour l'ensemble des pertes de transmission dans le bureau urbain de l'abonné et dans le central interurbain de Paris un affaiblissement de 0,2 (soit environ 2 m.c.s.), il reste pour l'ensemble de la ligne de l'abonné et de la ligne intermédiaire entre le bureau de l'abonné et le central interurbain, un affaiblissement total égal à 0,7 (7 m.c.s. environ).

Ces standards de transmission étant fixés, et le type d'appareil d'abonné adopté étant connu, il en résulte une limite maximum pour la résistance de la ligne d'abonné. En ce qui concerne les appareils retenus au récent concours technique de l'Administration des P.T.T. pour les abonnés des réseaux automatiques français, l'efficacité à la transmission et à la réception varie en fonction de la résistance de la ligne d'abonné exprimée en ohms conformément aux courbes représentées sur les figure 1, 2, 3 et 4. Étant donné que dans une communication téléphonique l'abonné tour à tour cause et écoute, si l'on admet que 2 abonnés correspondants ont le même type d'appareil, la somme de l'efficacité à la transmission et de l'efficacité à la réception des abonnés correspon-

dants compte tenu de la résistance de leur ligne doit être égal au maximum à 2 fois la part du standard de transmission interurbain réservée à chaque ligne d'abonné. Il résulte des courbes

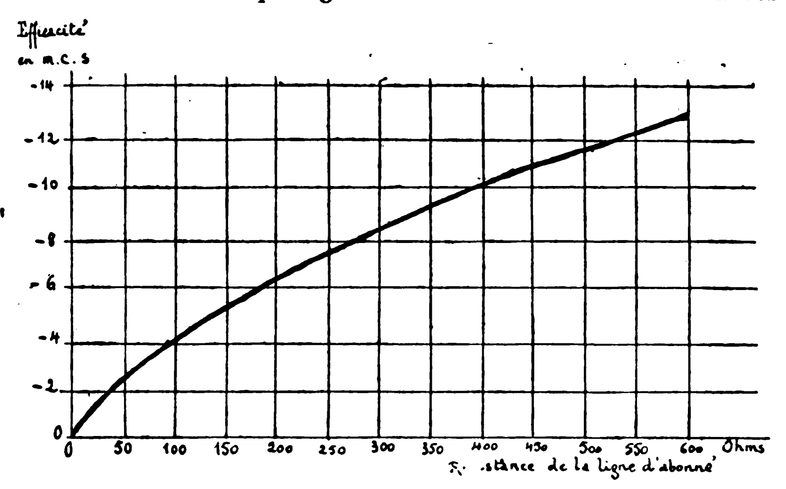


Fig. 1. — Efficacité relative (à la transmission) de l'appareil français à microphone fixe en fonction de la résistance de la ligne d'abonné.

des figures 1, 2, 3 et 4 que pour satisfaire au standard interurbain admis ci-dessus (0,9) la résistance d'une ligne d'abonné de la région parisienne doit être inférieure à 450 ohms lorsque

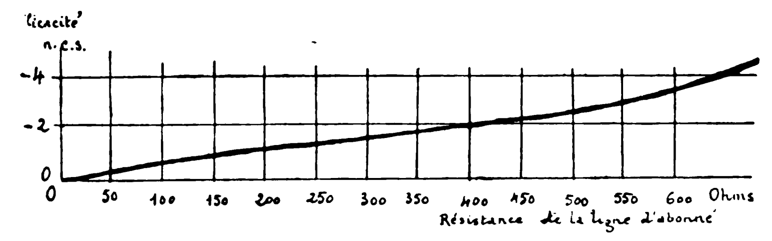


Fig. 2. — Efficacité relative (à la réception) de l'appareil français à microphone fixe en fonction de la résistance de la ligne d'abonné.

l'abonné utilise l'appareil combiné, et 500 ohms lorsque l'abonné utilise l'appareil à microphone fixe.

Parvenus à ce point de notre étude, il devient nécessaire de fixer également les types de conducteurs en câble souterrain, ou de conducteurs aériens qu'on doit utiliser pour la constitution des lignes d'abonnés et des lignes auxiliaires de la région

parisienne. Une standardisation de ces conducteurs est obligatoire : en effet les lignes d'abonnés par exemple ayant des longueurs comprises entre quelques dizaines de mètres et 4 km.,

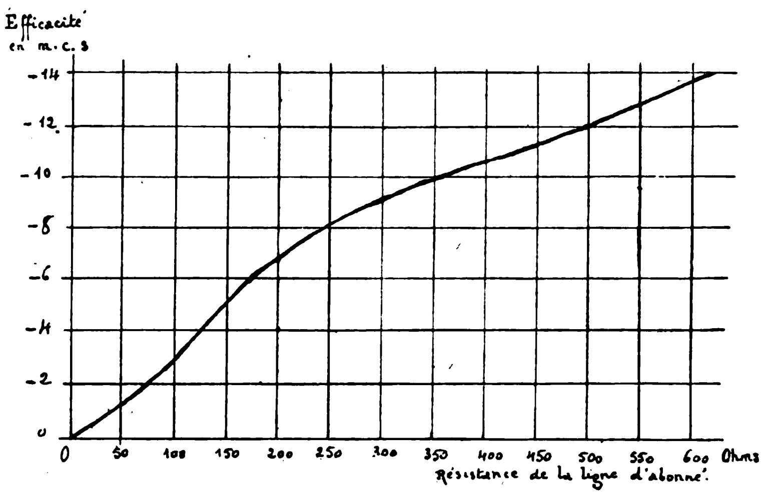


Fig. 3. — Efficacité relative (à la transmission) de l'appareil français à microphone combiné en fonction de la résistance de la ligne d'abonné.

si l'on voulait donner à toutes les conversations un volume de son rigoureusement égal, il serait nécessaire d'avoir autant de types de conducteurs qu'il y a de longueurs différentes de lignes

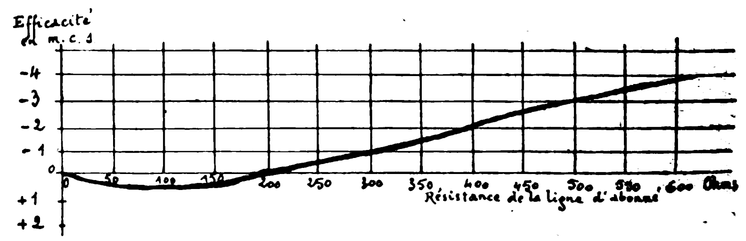


Fig. 4. — Efficacité relative (à la réception) de l'appareil français à microphone combiné en fonction de la résistance de la ligne d'abonné.

d'abonnés. Une telle complexité est impossible et l'on doit se borner à utiliser exclusivement certains types de conducteurs de diamètres suffisamment rapprochés l'un de l'autre pour satisfaire à tous les besoins de la pratique. Nous admettrons pour fixer les idées que les seuls types de conducteurs utilisés pour réaliser les lignes auxiliaires et les lignes d'abonnés

de la région parisienne seront ceux dont les diamètres et les constantes électriques sont indiqués dans le tableau de l'annexe 3 ci-jointe. Si en respectant le standard de transmission interurbain choisi, il était impossible de rattacher un abonné particulièrement éloigné de tout bureau central en utilisant un des types de conducteurs indiqués dans ce tableau, il faudrait renoncer à l'emploi de la batterie centrale du bureau téléphonique pour l'alimentation microphonique de cet abonné, et il faudrait le munir d'un appareil à batterie locale suffisamment efficace pour réaliser le standard de transmission interurbain voulu avec les types de conducteurs de lignes d'abonnés usuels (1). La transmission téléphonique ne serait pas dans ce cas probablement la seule difficulté à vaincre, et il serait également nécessaire de s'assurer que la transmission des signaux automatiques d'appel s'effectue de manière satisfaisante sur une ligne d'abonné aussi résistante.

Il convient de remarquer, dans cet ordre d'idée, que les organes des tableaux standards d'abonnés (bureaux privés annexes) ainsi que les lignes reliant les postes supplémentaires qui subsistent dans le circuit de conversation au moment d'une communication avec le réseau (interurbaine ou urbaine) ont eux aussi une influence importante (et souvent très préjudiciable) sur la transmission téléphonique. Malheureusement de nombreuses installations d'abonnés actuelles sont tout à fait défectueuses à ce point de vue ; il sera nécesaire de profiter de la transformation de Paris en automatique pour améliorer ces installations au point de vue de l'efficacité de la transmission et il conviendra d'exiger à l'avenir que toutes les mesures utiles soient prises pour conserver l'efficacité de transmission requise grâce à un entretien très satisfaisant des installations nouvelles ou des installations actuelles améliorées. Des calculs analogues à ceux qui ont été faits dans l'annexe 2 ci-jointe pour le poste d'abonné montreraient facilement les économies énormes, à standard de

(1) Dans certain pays, en pareil cas, on réalise parfois la ligne d'abonné avec 2 paires de conducteurs usuels en parallèle.



transmission identique, que permet de réaliser une légère amélioration de l'efficacité de transmission d'un circuit de cordons ou d'une ligne de poste supplémentaire d'un standard d'abonnés ; d'autre part, si une installation d'abonné est défectueuse au point de vue transmission, quels que soient les efforts faits par l'Administration par ailleurs, il sera impossible d'assurer des communications satisfaisant au standard de transmission voulu à partir des postes reliés au tableau d'abonné considéré.

(*A suivre.*)

NOUVEAU RÉGULATEUR POUR APPAREIL BAUDOT,

Par Francisco Paulo dos Santos MENDONÇA
et Cassiano Maria de OLIVEIRA.

L'administration portugaise, ayant résolu d'adopter le système Baudot pour son service international ainsi que pour son plus important service national, nous envoya à Paris, où nous suivîmes le cours de dirigeurs en 1918, dirigé alors par M. P. Mercy.

Étant revenus au Portugal à la fin de la même année, on inaugurait, le 1er avril 1920, au moyen d'un double baudot, la plus longue communication directe qui ait jamais existé, Lisbonne—Paris (2.000 kilomètres), après que l'installation des appareils et l'instruction du personnel dirigeur et de manipulation eût été fait par nous.

Après cette étape, et à mesure qu'on faisait l'acquisition et l'établissement de nouvelles installations, nous pensâmes à la résolution d'un problème important qu'on nous avait posé à Paris, la commande directe, d'autant plus intéressant pour nous que nous avions été chargés du montage d'un nouveau bureau central télégraphique, et que nous prétendions déjà nous y passer du moteur à poids.

Vers la fin de 1921, nous avons commencé nos expériences sur le distributeur d'un quadruple baudot auquel nous avons supprimé tous les organes du socle moteur, exception faite de l'axe du cinquième mobile, lequel a été prolongé dans sa partie postérieure afin qu'on puisse y monter une poulie. Notre premier modèle a donc été utilisé en reliant, au moyen d'une courroie, l'organe conduit à la poulie, en conservant le régulateur Baudot monté sur l'axe de la platine.

C'est-à-dire qu'en cette occurrence ce n'était pas notre intention de nous passer du régulateur Baudot mais tout simple-

ment de nous passer du moteur à poids par l'utilisation directe du moteur électrique.

Les premiers résultats obtenus ayant donné satisfaction, nous avons résolu de continuer les expériences avec de nouveaux modèles, à vrai dire, tous basés sur le même principe, celui

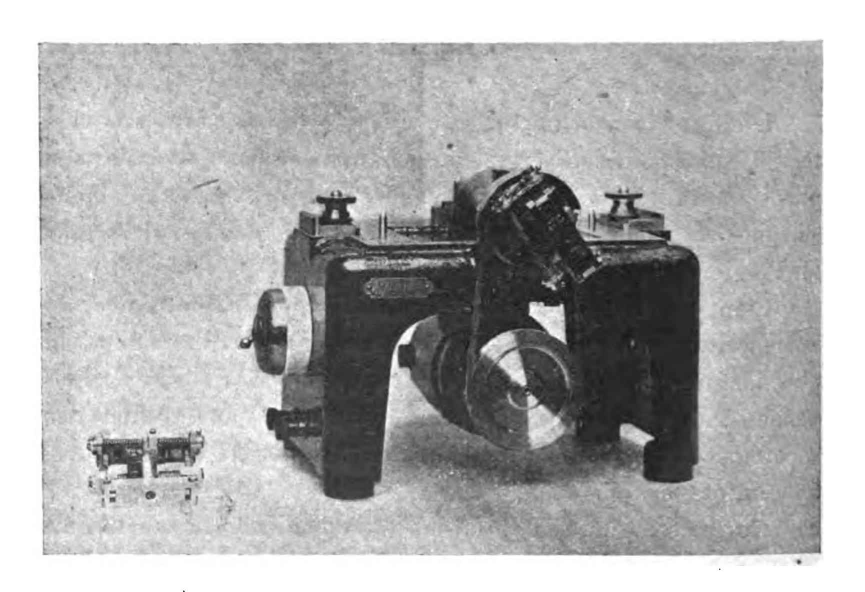


Fig. 1.

du régulateur que la maison Doignon a présenté au comité technique français.

Il faut rémarquer que, dans cette phase des expériences, nous avons construit exclusivement des modèles de réglage en marche, afin de pouvoir maintenir constamment le régulateur Baudot à une amplitude convenable sans que soit nécessaire l'arrêt du distributeur.

Pourtant, à mesure que nos exigences devenaient plus grandes, à cause des perfectionnements successifs introduits, nous avons cru que l'association des deux régulateurs était difficile, d'où ce dilemne : ou mettre de côté notre régulateur, en nous bornant à la commande directe, ou aller plus loin en le substituant au régulateur Baudot.

Cette substitution, étant donné les caractéristiques exceptionnelles du régulateur Baudot dont nous considérons la conception comme géniale, nous l'avons crue, sur le moment, d'une audace excessive, il faut l'avouer ; cependant nous avons fait l'expérience et les résultats en ont été tout à fait encourageants.

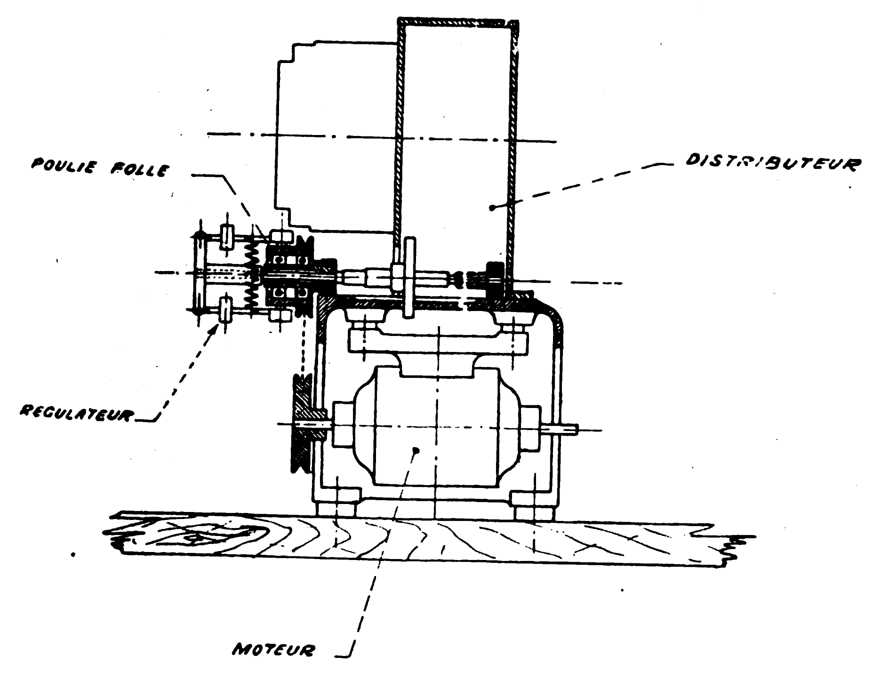


Fig. 2. — Régulateur Mendonça — de Oliveira non réglable en marche : schéma du montage.

Dans cette deuxième phase des expériences, nous avons construit de nouveaux modèles, parmi lesquels quelques-uns avec un dispositif pour le réglage en marche, mais nous n'y avons pas insisté pour deux raisons :

1° jusqu'alors le baudot était un appareil à vitesse de régime, seulement modifiée dans des conditions exceptionnelles ;

2° le dispositif pour réglage en marche, quoiqu'il ne soit pas trop compliqué, ôtait au régulateur, pour le cas strict de son application au baudot, une de ses caractéristiques les plus intéressantes : son extrême simplicité.

Nonobstant ces raisons, c'était notre intention, après avoir obtenu le perfectionnement du modèle non réglable en marche, d'étudier soigneusement le dispositif de réglage en marche, d'autant plus que, dans des expériences faites avec l'appareil Hughes sans régulateur Siemens, les résultats ont été excellents.

Toutes ces expériences, faites à de longs intervalles, en dehors de nos occupations officielles, nous ont conduit à la construction d'un modèle non réglable en marche qui, pendant plus de quatre mois, et avec la plus grande régularité, a assuré le service de la plus importante communication intérieure : Lisbonne—Porto.

Cependant, à cette occasion, le premier de nous a dû se rendre en France afin de prendre part aux jeux olympiques en qualité de tireur, et il a profité de son séjour à Paris pour remettre l'exploitation du régulateur à une maison française de la spécialité. Et, comme nous avons jugé intéressante l'association de notre régulateur, appliqué au distributeur, avec l'électromoteur Grunenwald destiné aux traducteurs, nous en avons accordé l'exclusive licence à la maison Doignon, qui a perfectionné le dernier et seul modèle que nous possédions et que nous lui avons fourni. Cette maison étudie aussi, en ce moment, un modèle réglable en marche ; et nous regrettons seulement de ne pouvoir suivre de près ses travaux, afin de prêter notre collaboration avec les enseignements pratiques qui nous sont provenus des nombreuses expériences réalisées par nous.

Expériences faites et résultats obtenus. — Comme il a été déjà dit, les expériences concluantes pour nous ont été celles que nous avons réalisées avec le dernier modèle, lequel a été remis, plus tard, à la maison Doignon.

En effet, avec toute la régularité et sans aucune exigence spéciale, il a assuré le service Lisbonne—Porto durant plus de quatre mois, malgré les énormes variations de voltage du secteur public de distribution, lesquelles atteignent, parfois, des valeurs entre 30 et 40 °/₀.

La différence de vitesse entre le distributeur du quadruple

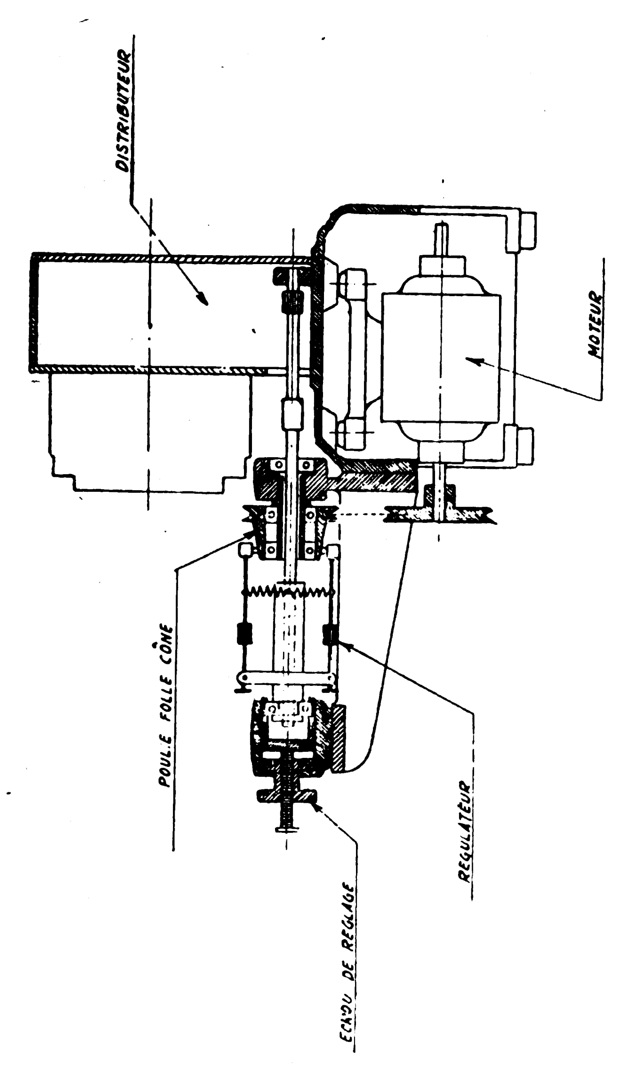


Fig. 3. — Régulateur Mendonça — de Olivéira réglable en marche (échelle : 1/5).

installé à Lisbonne (poste corrigé) et le distributeur à Porto a été maintenue à sa valeur normale, correspondant à une étoile à 12 dents, la correction battant avec toute la régularité désirable.

En outre, le nombre de fois que la même lettre était répétée sur les secteurs de réception avant la fixation de la correction sur le contact mobile, nous indiquait d'une façon tout à fait précise que les fluctuations de vitesse n'étaient point supérieures à celles qui sont normalement constatées avec le régulateur Baudot.

On obtient très facilement la vitesse de régime, soit en agissant sur la tension des ressorts (pour les plus grandes variations), soit en modifiant la position des masses auxiliaires (pour les variations plus petites), et voilà les seules manœuvres de réglage. Cette facilité est de telle nature que, dans le cas de l'application du régulateur au distributeur Baudot, nous ne savons s'il est vraiment nécessaire d'insister pour le réglage en marche.

L'administration portugaise attend l'installation du bureau central télégraphique pour faire l'essai en grand.

Des expériences se poursuivent en Hollande.

Théorie du régulateur. — Nos travaux ayant eu un caractère purement pratique, le chemin fait a été parcouru plus par l'intuition et par l'enchaînement logique des enseignements fournis par les expériences réalisées successivement, que par une étude préalable et approfondie du principe qu'on voulait utiliser.

Néanmoins, nous avons élaboré une théorie. Elle est modeste et sans prétentions, puisqu'elle n'attribue pas au régulateur de qualités qu'il ne possède pas, vrai motif, nous en sommes sûrs, qui nous permet d'affirmer que toutes ses conclusions se vérifient dans la pratique.

Le régulateur F. Mendonça — C. de Oliveira est un appareil qui résout le problème de la commande directe, c'est-à-dire qui permet d'actionner directement, par un moteur quelconque, tous les appareils dont la vitesse de régime doit être maintenue entre des limites rapprochées.

Il se compose essentiellement de deux organes distincts : l'organe conducteur et l'organe conduit.

L'organe conducteur est directement commandé par le moteur; l'organe conduit est entraîné par l'organe conducteur, et il constitue, à proprement dire, le régulateur; par conséquent c'est lui qui entraîne l'axe doué de la plus grande vitesse de rotation dans l'appareil qu'on veut actionner.

L'organe conduit est monté sur cet axe, et sa vitesse se

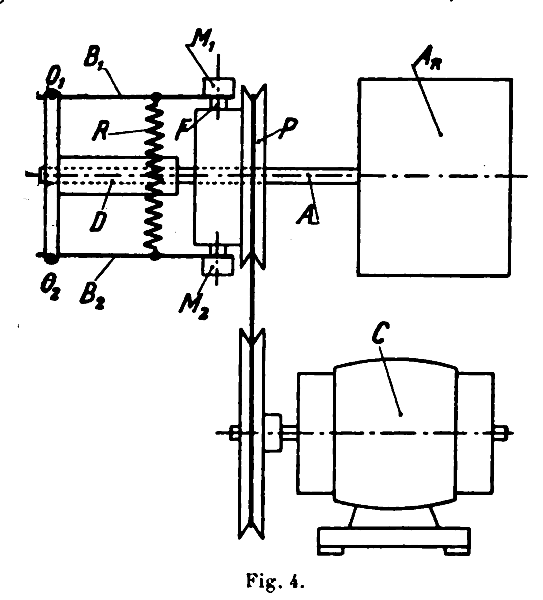


Fig. 4.

maintient sensiblement constante; l'organe conducteur est absolument indépendant de cet axe, et sa vitesse, dont la valeur normale est considérablement supérieure à celle de l'organe conduit, peut varier entre des limites très éloignées. Cependant, il y a une condition *sine qua non*, c'est que la vitesse du mobile conducteur ne doit jamais baisser au dessous de la vitesse de régime imposée à l'axe du mobile conduit.

On réalise un embrayage spécial au moyen de frotteurs liés au mobile conduit, et qui s'appuient sur une surface convenable du mobile entraîneur.

Le mobile conducteur, outre une roue à gorge ou dentée pour recevoir le mouvement du moteur, présente seulement une surface appropriée au travail des frotteurs.

Le mobile conduit comporte :

a) un manchon pour l'adaptation à son axe ;

b) deux tiges métalliques sur lesquelles se trouvent montés les frotteurs et des masses ayant un poids convenable ;

c) des ressorts pour solliciter les tiges afin que les frotteurs puissent exercer la pression nécessaire sur le mobile conducteur ;

d) un dispositif pour modifier la position des masses ou la tension des ressorts, toutes les fois qu'on voudra modifier, en marche, le régime de vitesse.

Au sujet de la théorie du régulateur, nous trouvons utile de présenter les remarques suivantes.

Quand le moteur est mis en mouvement, le mobile conducteur entraîne le mobile conduit au moyen des frotteurs, vu que les ressorts exercent leur action sur les tiges où les frotteurs se trouvent montés ; toutefois, étant donné que sur les tiges se trouvent aussi les masses, celles-ci seront sollicitées par la force centrifuge, qui augmentera avec la vitesse d'après la formule :

$$F = m r \omega^2,$$

et, par conséquent, un moment arrivera où la différence entre la tension des ressorts et la force centrifuge, qui exerce une action antagoniste, aura exactement la valeur voulue pour déterminer le frottement, dont le travail est en réalité le travail moteur qui se trouve justement en équilibre avec le travail résistant pour cette vitesse-là.

Ainsi donc, tant que ce travail résistant se maintient constant, ainsi que la vitesse du mobile conducteur, vitesse qui constitue un des facteurs du travail moteur, on voit que la vitesse du mobile conduit ne subit pas de variation. Pourtant, le régulateur existe précisément pour répondre, soit aux variations du travail résistant (mais celles-ci sont, en général, insignifiantes), soit aux variations de vitesse de l'organe conducteur, lesquelles, au contraire, peuvent atteindre des valeurs assez élevées.

Voyons maintenant comment le régulateur parvient à son but.

Supposons d'abord qu'une variation se produise dans le

travail résistant et, pour simplifier, que cette variation soit positive. Dans ces conditions, on aura besoin d'un plus grand frottement, afin de maintenir l'équilibre indispensable entre T_m et T_r.

Pour estimer la valeur de cet accroissement nécessaire, soient :

T le travail moteur,

f le frottement,

l le chemin parcouru par le point d'application de f.

On aura : $T = f.\,l$,

$dT = l.\,df$;

c'est-à-dire qu'on pourra obtenir une grande variation du travail moteur avec une petite variation du frottement ; il suffira d'avoir pour l une valeur considérable. Par conséquent :

1° *Le mobile conducteur doit avoir une grande vitesse.* — Mais, quoique l'accroissement de frottement nécessaire soit petit, on ne peut l'obtenir qu'aux dépens de la force centrifuge et, par conséquent, d'un abaissement dans la vitesse de l'organe conduit. Pour estimer la valeur de cet abaissement, on a :

$$F = m r \omega^2,$$
$$dF = 2 m.r.\omega.d\omega\,;$$

c'est-à-dire que, pour la diminution nécessaire de F, celle de ω sera d'autant plus petite que les valeurs de m, de r et de ω seront plus grandes. Par conséquent :

2° *Il convient que les masses, les rayons et la vitesse du mobile conduit soient le plus grands possible.*

Supposons maintenant que ce soit la vitesse du mobile conducteur qui varie et, pour simplifier, que cette variation soit négative.

Étant donné que le travail moteur dépend de la valeur du frottement et de la vitesse du mobile conducteur, la diminution de celle-ci entraînera l'accroissement de celle-là ; or, en désignant par p la pression des frotteurs et par μ le coefficient de frottement, on aura :

$$f = \mu.\,p,$$
$$df = \mu.\,dp\,;$$

nous pourrons donc obtenir une variation considérable du frottement avec une petite variation de la pression des frotteurs. Pour cela :

3° *Le mobile conducteur et les frotteurs doivent être constitués par des substances dont le coefficient de frottement soit élevé et inaltérable par l'huile et la poussière.*

En observant ces principes, la sensibilité du régulateur peut aller aussi loin qu'on le voudra.

Nous devons pourtant y ajouter encore d'autres principes très importants, que la pratique nous a montrés ; savoir :

4° *Les frotteurs doivent être aussi près des masses que possible, l'implantation des premiers dans les secondes étant même à conseiller.*

5° *Le poids du mobile conduit doit être réduit au minimum et ne doit surpasser que de très peu le poids des masses respectives.*

Cette condition impose une limite à la condition 2°, en ce qui concerne les poids des masses ; le rayon et la vitesse angulaire du mobile conduit dépendront, le plus souvent, des conditions imposées par l'installation du régulateur.

6° *Le dispositif spécial pour modifier, en marche, la vitesse du mobile conduit doit exercer son action, de préférence, sur les masses.*

7° *La construction du mobile conducteur doit être faite de façon qu'il puisse supporter de grandes vitesses.*

8° *Afin que les seules forces agissant sur les masses soient la tension des ressorts et la force centrifuge il faut réduire le plus possible le frottement dans l'axe des tiges du mobile conduit, d'où l'utilité de disposer de tiges assez longues et de mettre le point d'application des ressorts tout près des masses.*

D'après la condition 4°, c'est sur les masses qu'il convient d'implanter les frotteurs, si le mobile conduit comporte des masses supplémentaires pour réglage.

9° *Les ressorts doivent être installés de telle sorte que leur tension soit réglable.*

Dans ces conditions, comme la marge de fonctionnement

dépend non seulement de la tension des ressorts mais encore de la position des masses, elle peut sans difficulté être rendue considérable.

10° *L'équilibre du mobile conduit devant être parfait à tous les points de vue, on devra apporter les plus grands soins à la construction et à l'installation de tous ses organes.*

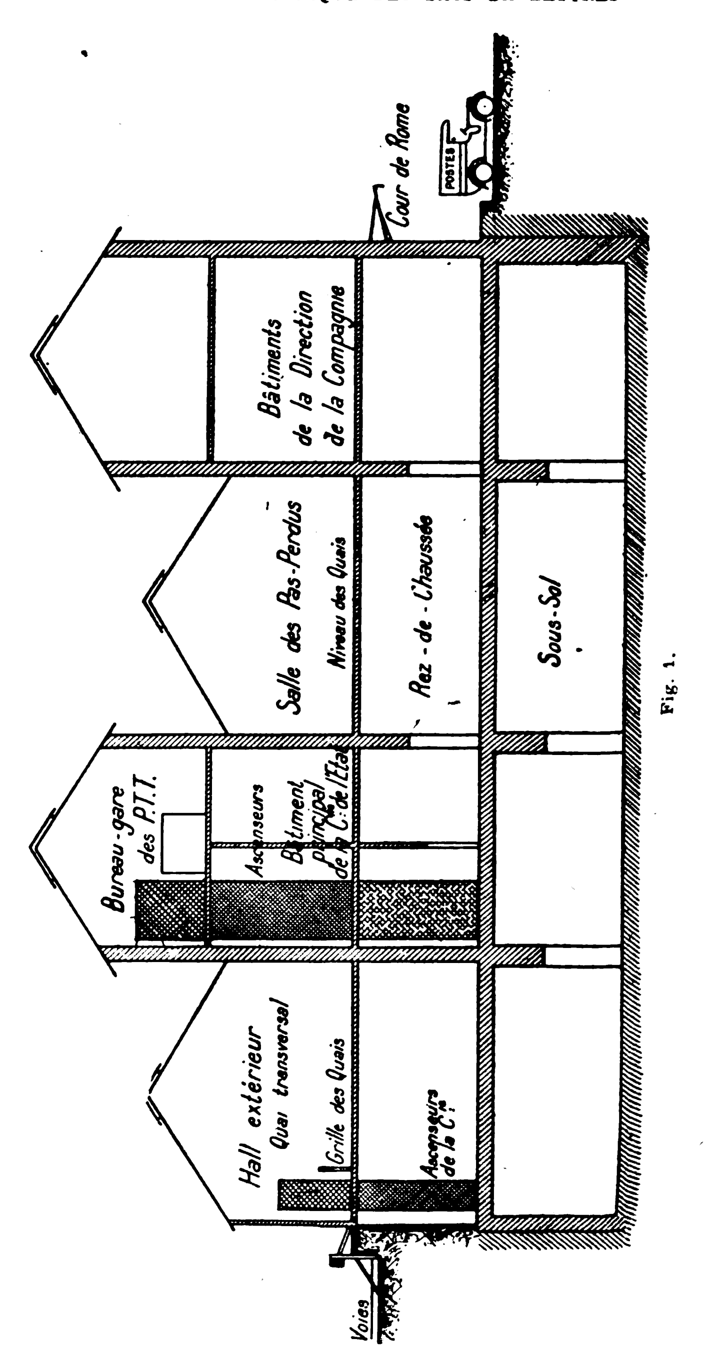

Cour de Rome
POSTES
Bâtiments
de la Direction
de la Compagnie
Salle des Pas-Perdus
Niveau des Quais
Rez-de-Chaussée
Sous-Sol
Bureau-gare
des P.T.T.
Ascenseurs
Bâtiment
principal
de la Cie de l'Etat
Hall extérieur
Quai transversal
Grille des Quais
Ascenseurs
de la Cie
Voies

Fig. 1.

TRANSPORT MÉCANIQUE DES SACS DE LETTRES A LA GARE SAINT-LAZARE A PARIS,

Par E. REYNAUD-BONIN,
Ingénieur en chef,

et E. PALHOLS,
Contrôleur des Postes et Télégraphes.

RÉSUMÉ. — *Il s'agit d'amener de la rue aux quais d'embarquement (ou de convoyer en sens inverse) des sacs postaux chargés de lettres. Le nombre des sacs peut dépasser un millier et le temps à consacrer à leur manipulation est des plus restreints parce que les bureaux de poste expéditeurs ou récepteurs ont eux-mêmes des horaires très serrés.*

Les dispositions topographiques de la gare Saint-Lazare imposent la nécessité de décharger les autos postales dans un angle de la cour de Rome (voy. fig. 1). C'est un endroit déjà encombré par la circulation des voyageurs. La partie des bâtiments de la gare qui est de plain-pied avec la cour de Rome n'a pu être attribuée au convoyage postal, et l'administration des chemins de fer de l'État a affecté à ce service un sous-sol en forme de boyau à plusieurs coudes (fig. 2). C'est dans ce sous-sol qu'a été installé le système de transporteurs mécaniques qui fait l'objet de cette notice.

L'installation mécanique était rendue difficile du fait de plusieurs coudes à angles droits et surtout de grandes différences de niveau à rattraper entre le sous-sol et les quais d'embarquement (on sait que le quai d'embarquement de la gare Saint-Lazare est beaucoup plus élevé que le niveau de la cour de Rome). De plus, les sacs postaux se prêtent mal au convoi mécanique, à cause de leur fermeture par des ficelles dont les extrémités sont pendantes et peuvent se coincer dans le mécanisme. En réalité, la mise au point du transporteur mécanique de la gare Saint-Lazare a été assez laborieuse ; mais il suffit d'examiner avec attention les divers plans joints à cette étude pour comprendre ces difficultés.

La liaison, entre les bureaux de tri sédentaires ou les bureaux de ville et les bureaux ambulants se fait par des moyens variés selon les circonstances : voitures automobiles postales, chariots poussés à bras ou quelquefois formés en petits convois remorqués par des tracteurs automobiles ; enfin transporteurs mécaniques de sacs dans les installations perfectionnées.

Quand il s'agit de relier les bureaux de ville avec les bureaux ambulants, et lorsque le rôle des fourgons automobiles postaux est terminé, de grandes difficultés peuvent se présenter :

a) différences de niveau entre le point de stationnement des voitures postales et les quais du chemin de fer ;

b) longueur du parcours ;

c) obstacles de toute nature sur ce parcours : bâtiments interposés, escaliers, voies ferrées à traverser, courants de circulation des voyageurs à éviter, etc...

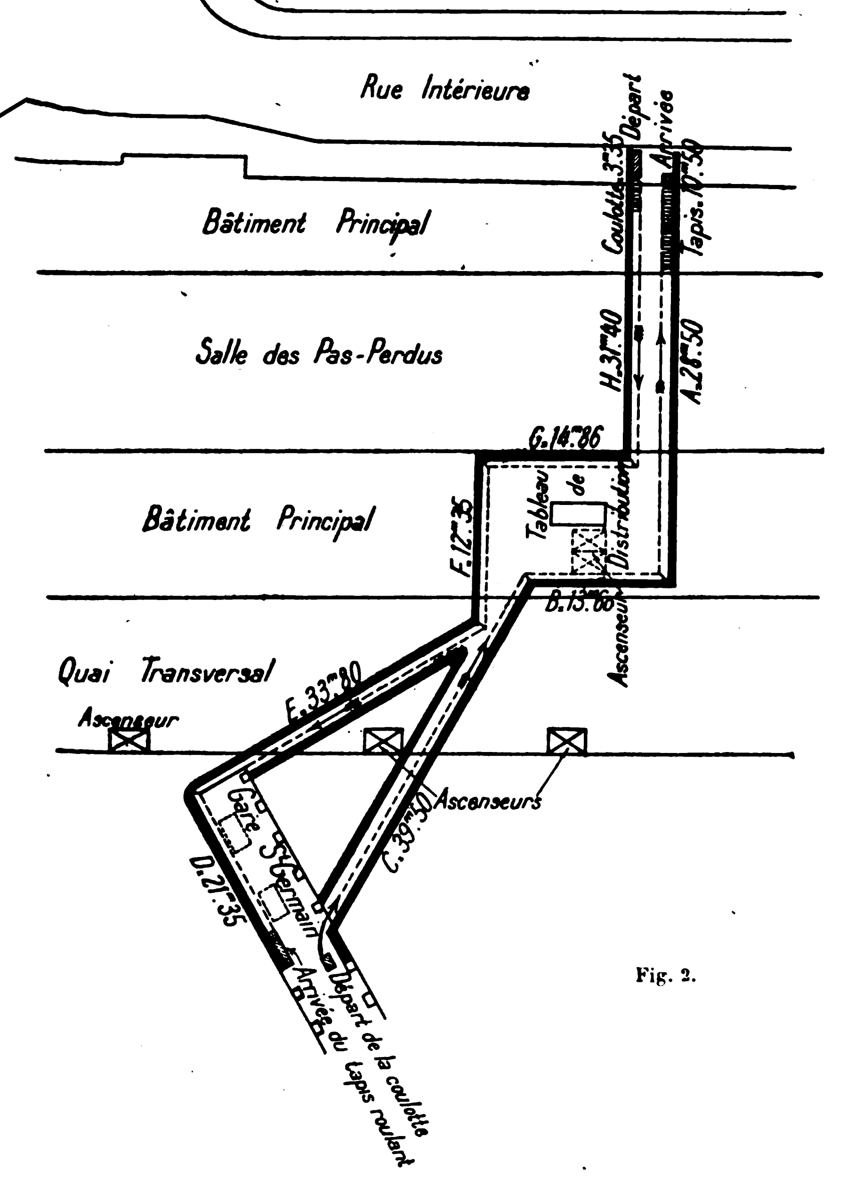
A Paris, tous ces inconvénients semblent avoir été réunis à la gare Saint-Lazare.

On sait en effet que les quais de la voie ferrée sont à $5^{m},50$ au-dessus du niveau de la cour de Rome où peuvent accoster les voitures postales.

Pour accéder aux quais, en partant de la cour de Rome, il faut franchir d'abord un premier bâtiment dont les escaliers conduisent à la salle des pas perdus ; ensuite l'immense hall abritant cette salle ; puis dans le second bâtiment, un long couloir donnant accès aux quais des voies ferrées.

Le service du transbordement postal n'arrivait à franchir cette distance et les divers obstacles qu'en utilisant d'abord un long parcours horizontal dans les vestibules au niveau de la cour de Rome, encombrée de voyageurs à la sortie, puis en empruntant des ascenseurs permettant d'amener au niveau des quais les lourds chariots chargés de sacs. De ce fait, le service postal était à la merci du fonctionnement plus ou moins régulier des ascenseurs, sans compter les retards causés par la circulation des voyageurs, très intense à certaines heures.

Il s'ensuivait qu'un temps très appréciable était perdu, tant



Hôtel Terminus
Rue Intérieure
Bâtiment Principal
Salle des Pas-Perdus
Bâtiment Principal
Quai Transversal
Ascenseur
Ascenseurs
Ascenseur
Départ
Arrivée
Coulotte 3m35
Tapis 10m50
H.31m40
A.26m50
G.14m86
F.12m35
B.13m60
E.33m80
C.39m50
D.21m35
Tableau de Distribution
Gare St Germain
Départ de la coulotte
Arrivée du tapis roulant

Fig. 2.

au départ des ambulants qu'à l'arrivée des trains postaux, pour la manipulation et le transport des dépêches, dont le nombre, très élevé en tout temps, est considérable les jours d'arrivée ou de départ des paquebots.

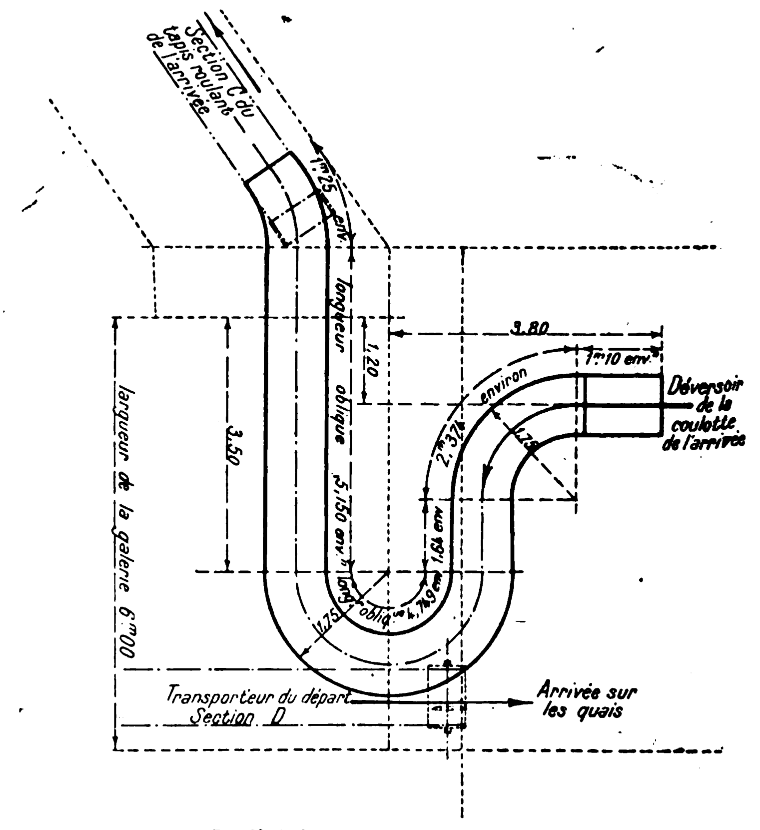


Fig. 3. — Profil de la coulotte du tapis roulant de l'arrivée.

Les ascenseurs venaient-ils à faire défaut, on devait pour assurer le transbordement, faire appel à l'administration des chemins de fer et utiliser les monte-charges réservés au transport des bagages des voyageurs.

En 1912, l'administration des Postes et Télégraphes demanda à la direction des chemins de fer de l'Etat d'étudier, puis de réaliser l'installation d'un tapis roulant électrique. Les études, très délicates, et la réalisation entravée par la guerre ont

fait que ce tapis roulant, construit par les établissements Adolphe Grandjean à Paris, n'a pu fonctionner que récemment. La réception provisoire a été faite le 3 avril dernier ; la réception définitive doit avoir lieu en octobre prochain. Depuis sa

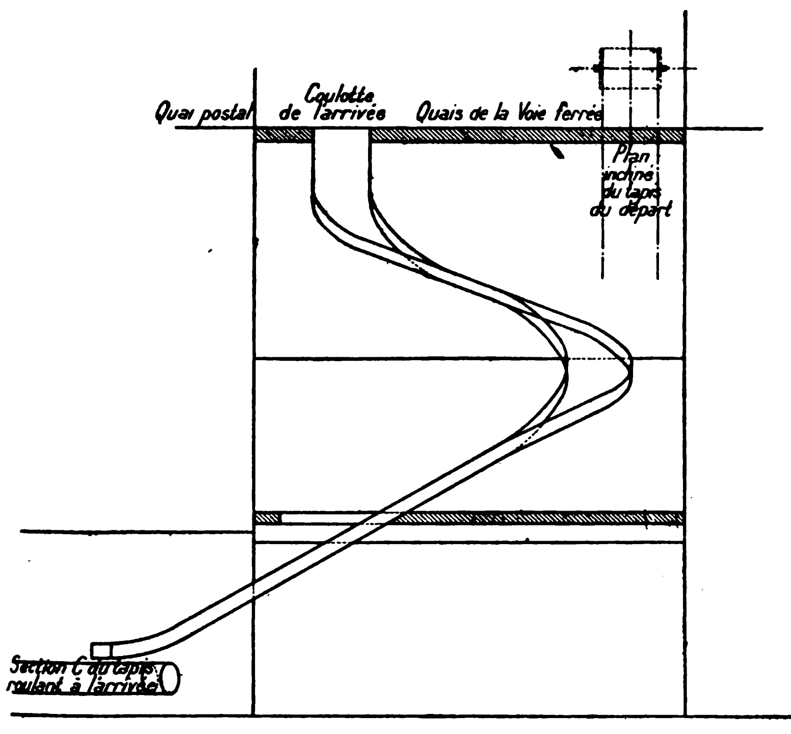


Fig. 4.

réception provisoire, ce tapis roulant est utilisé chaque jour pour le transbordement des dépêches.

*
* *

Le tapis roulant du service postal de la gare Saint-Lazare est installé dans les sous-sols des bâtiments du chemin de fer de l'Etat.

En raison de la configuration compliquée des couloirs dans les sous-sols, il n'a pas été possible d'édifier un seul système circulaire sans fin, et l'on a dû construire deux tapis roulants à parcours indépendants.

L'un d'eux est utilisé pour amener aux voitures postales de Paris les sacs provenant des wagons ambulants ; c'est le tapis de l'arrivée, qui comporte trois sections rectilignes A, B, C (fig. 2), une coulotte, et un plan incliné élévateur.

L'autre transporte aux wagons ambulants les sacs postaux originaires de Paris ; c'est le tapis du départ. Il est constitué par une coulotte, quatre sections rectilignes D, E, F, G, et un plan

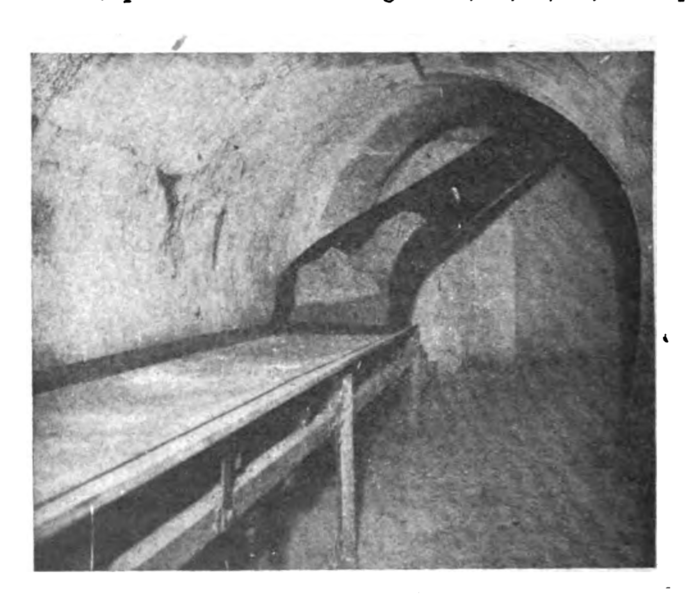


Fig. 5. — Déversement de la coulotte sur la 1re section du transbordeur.

incliné élévateur : son fonctionnement se fait dans le sens de la cour de Rome aux voies ferrées.

Le tapis roulant des transbordeurs est constitué, dans chaque section, par une forte toile sans fin, en coton, de 7mm d'épaisseur et de 80cm de large, enduite d'un vernis spécial la protégeant de l'humidité, fortement tendue, tournant autour de deux tambours, et glissant sur des rouleaux placés à 80cm de distance. De chaque côté, sont des plans inclinés en bois de 27cm dont 18 en saillie, placés à une inclinaison de 90cm (voy. fig. 14). Un seul de ces tambours, celui qui est placé à l'extrémité de la section, dans le sens de la marche du trans-

bordeur, reçoit l'impulsion d'un moteur au moyen d'un engrenage. Nous allons donner le détail des particularités de chaque section.

TAPIS DE L'ARRIVÉE.

a) **Coulotte.** — Couloir rigide en forte tôle de 80^{cm} de large avec des rebords de 25^{cm}.

En plus d'une forte inclinaison, cette coulotte affecte la forme que montrent les figures 3, 4 et 5.

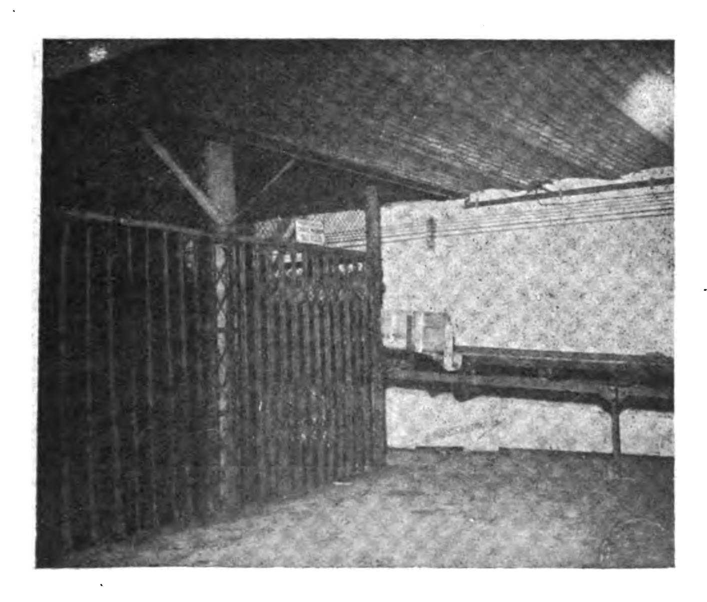


Fig. 6.

Les sacs provenant des wagons ambulants sont jetés, par une trappe de 80^{cm} sur $1^{m},35$ ouverte au niveau du sol des quais, dans la coulotte, qui facilite leur glissement jusque sur la première section C du tapis roulant.

Longueur de la coulotte $13^{m},33$. Différence de niveau franchie : 6 mètres.

b) **1re section (C) du transbordeur.** — La longueur de cette première section est de 39^{m}, 50. Entre le début, qui se trouve

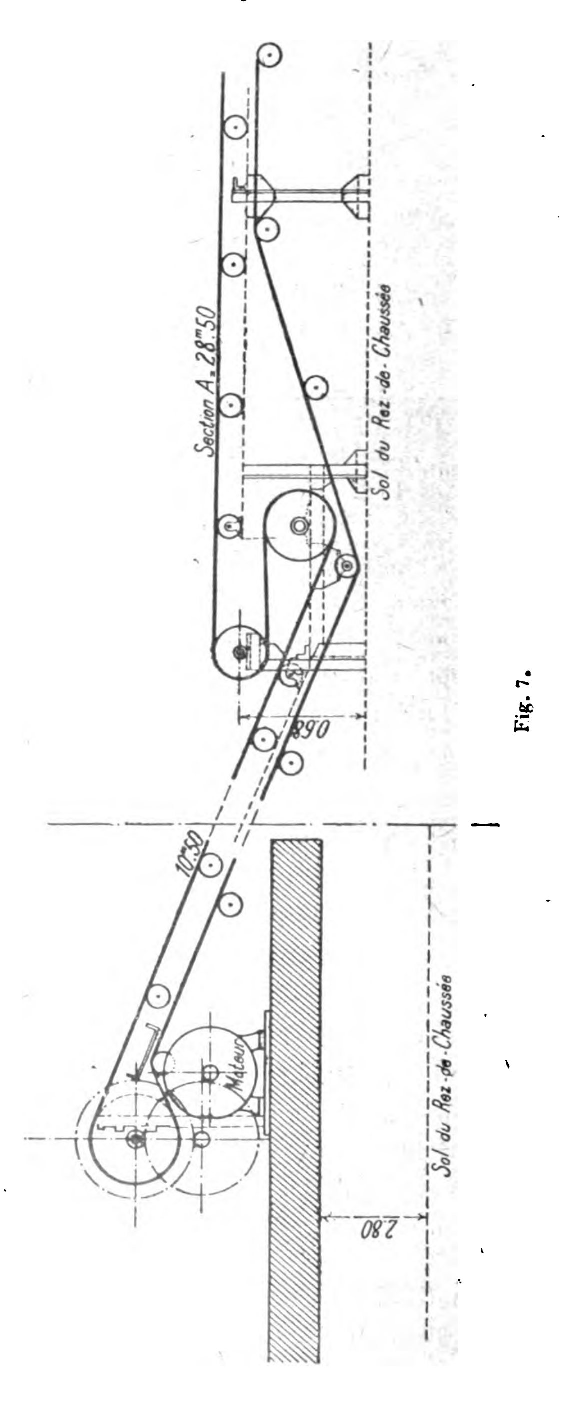

Section A. 28m50
Sol du Rez-de-Chaussée
0.89
10m50
Moteur
Sol du Rez-de-Chaussée
2.80

Fig. 7.

sous la coulotte (fig. 5), et la fin de cette section, une différence de niveau de 90cm a été créée, pour que les sacs arrivant à l'extrémité du tapis puissent tomber naturellement sur la section suivante. Des guides, en chêne, obligent les sacs à tomber exactement au milieu du tapis.

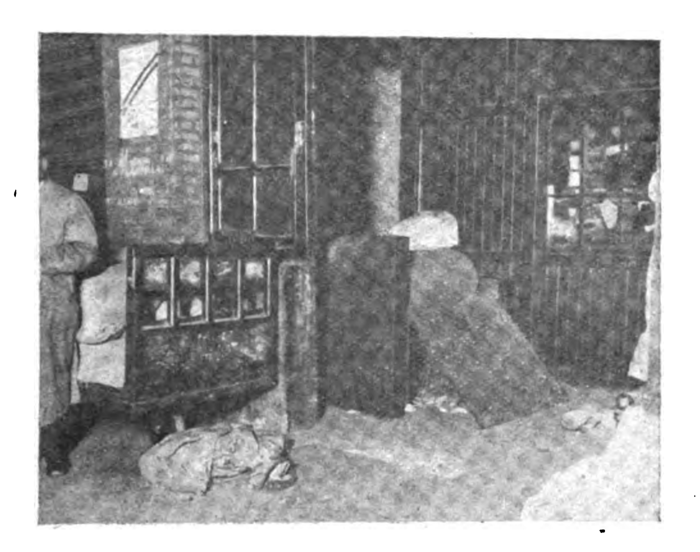


Fig. 8. — Arrivée du transbordeur dans la cour de Rome.

c) **2e section (B).** — Longueur : 13m,60. Cette section fait avec la précédente un angle de 110 degrés et comporte à son début les mêmes guides en bois pour renvoyer, au milieu du tapis, les sacs arrivant de la section précédente. Cette disposition se retrouve d'ailleurs et au début et à la fin de presque toutes les sections. La différence de niveau entre les deux extrémités est de 92cm.

Après un long parcours de 5m,60, le tapis roulant passe derrière un ascenseur (fig. 6). Pour éviter que des sacs mal placés, ou déviés de la position normale, n'accrochent la cage de l'ascenseur, on a disposé contre celle-ci des flancs-guides en planches, de 35cm de hauteur. Ces flancs-guides, évasés du côté de l'arrivée, obligent les sacs déviés à se placer au milieu du tapis roulant.

d) **3e section (A).** — Pour une longueur de $28^{m},50$, cette troisième section fait avec la précédente un angle de 90° et accuse une différence de niveau de 13^{cm} seulement entre le début et la fin de la partie rectiligne. Arrivé au tambour moteur, le tapis passe sous un rouleau placé au dessous de ce tambour et repart dans la première direction, en constituant le plan incliné final (fig. 7).

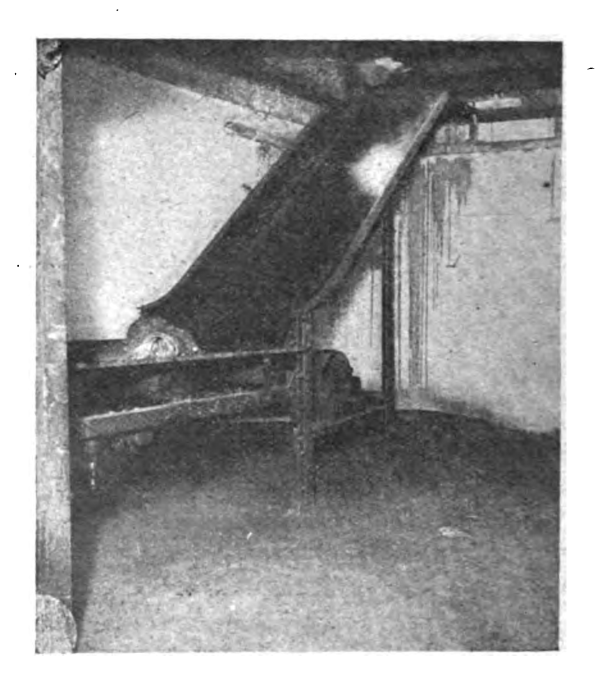


Fig. 9. — Coulotte du départ.

e) **Plan incliné.** — La longueur du tapis constituant le plan incliné de l'arrivée est de $10^{m},47$. Il réalise une différence de niveau de $3^{m},72$, y compris une surélévation de $1^{m},05$ au dessus du quai des voitures postales (fig. 8). Cette surélévation permet aux chargeurs de recevoir les sacs alors qu'ils sont à $1^{m},05$ du niveau du sol et facilite leur placement sur les chariots pour être transportés aux voitures postales stationnant à quelques mètres, dans la cour de Rome.

Tapis de départ.

Dans la cour de Rome, derrière l'hôtel Terminus, sur le quai qui lui fait face, à 50 centimètres du bord du trottoir contre lequel viennent se ranger les voitures postales et à quelques mètres seulement de l'orifice du tapis de l'arrivée, une trappe rectangulaire de 90^{cm} sur $1^{m},15$, semblable à celle précédant la coulotte de l'arrivée et, comme elle, masquée en temps ordinaire par un volet de fer, donne accès à la coulotte du départ.

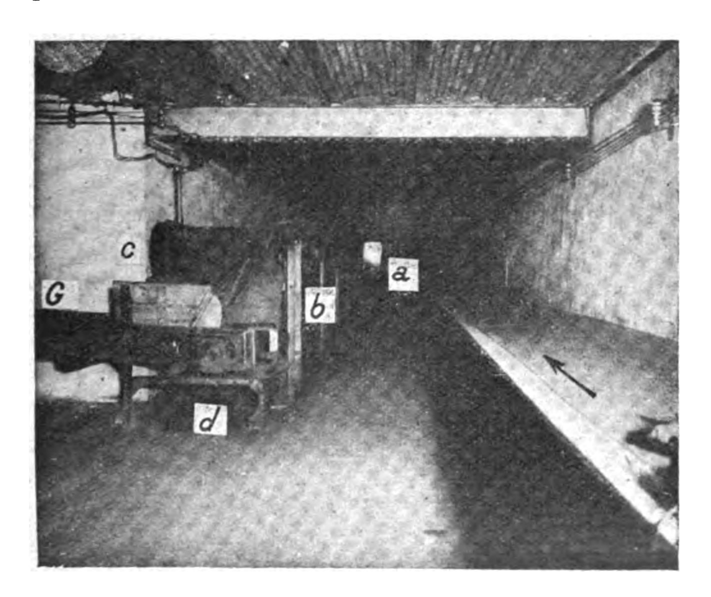


Fig. 10.

f) **Coulotte du départ** (fig. 9). — Moins longue que celle de l'arrivée et rectiligne, la coulotte du départ, également en forte tôle avec des rebords de 22^{cm}, présente une longueur de $3^{m},38$ et une différence de niveau de $2^{m},40$.

Les sacs postaux extraits des fourgons automobiles sont, après pointage—vérification, placés dans la roulotte, qui dirige leur glissement sur la première section (H) du tapis roulant du départ.

g) **1re section (H).** — Parallèle à la section A du tapis de l'arrivée et à une distance de 1m,50 de celui-ci (espace occupé en partie de deux escaliers murés) cette section H présente une longueur de 31m,40 avec une différence de niveau de 72cm entre les deux extrémités, et se trouve dans le prolongement de la coulotte du départ.

La figure 10 montre :

à droite, la section A du tapis roulant, et, lui faisant suite, le plan incliné de l'arrivée ;

à gauche : (*a*) le carré blanc est une partie de la coulotte du départ, éclairée par la trappe-déversoir percée dans le trottoir du quai de la rue de Rome ; (*b*) la section H du transbordeur du départ ; (*c*) le déversoir de la section H sur la section G, avec les flancs-guides en bois ; (*d*) l'amorce de la section G.

h) **2e section (G).** — Elle fait un angle de 90° avec la précédente ; sa longueur est de 14m,86. La différence de niveau entre les deux extrémités est de 77cm.

La figure 11 donne le détail du changement de direction G—H. On y voit très clairement :

1 la position de la dynamo motrice entraînant le tapis de la section H,

2 et 3 les deux tambours,

4 et 5 les flancs-guides,

6 le tendeur du tapis roulant de la section G.

i) **3e section (F).** — Elle accuse une différence de niveau de 93cm entre les deux extrémités. Sa direction fait un angle de 100° avec la direction de la section G. Sa longueur est de 12m,35.

Le tapis roulant passant très près d'une des piles en maçonnerie du bâtiment, on a dû, tout comme près de l'ascenseur à la section B, placer des flancs-guides en planches pour éviter l'accrochage des sacs par cette pile.

j) **4e section (E).** — Longueur : 33m,80 ; différence de

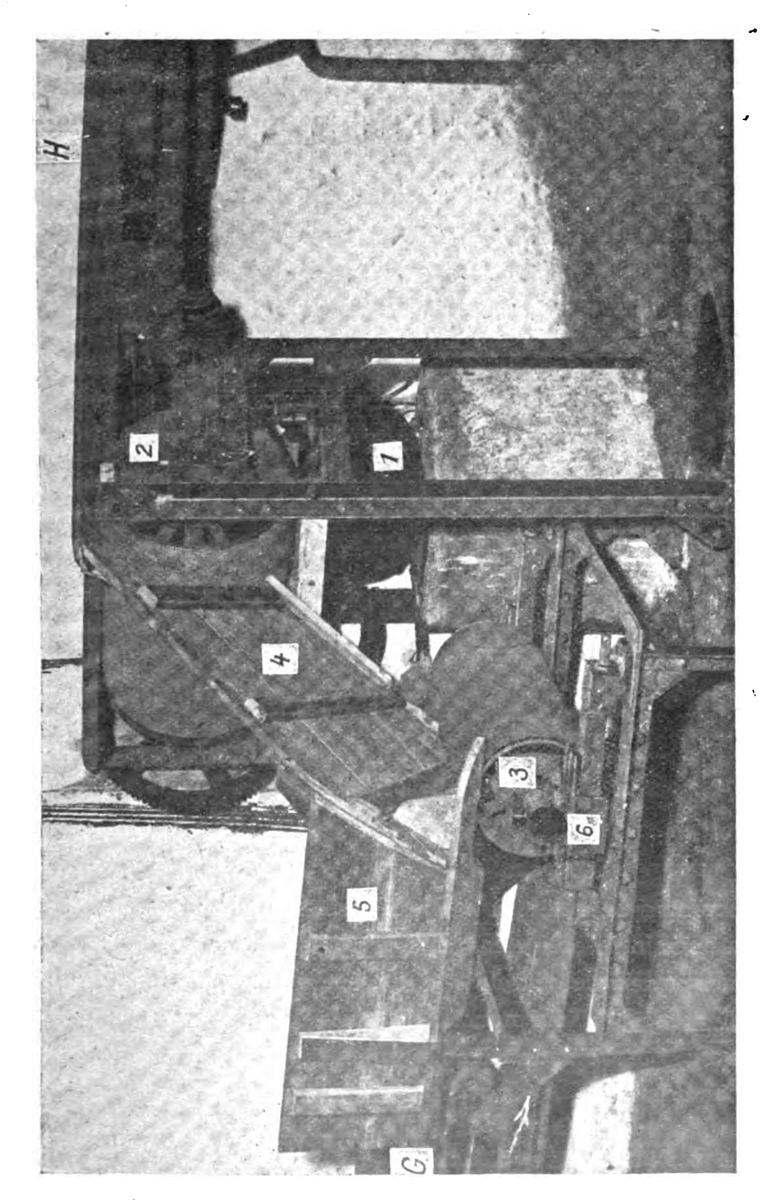


Fig. 11.

niveau : 92cm ; fait avec la section précédente un angle de 100° environ.

Dans toutes les sections, on a dû placer, sur les parties inclinées, et très près du tapis roulant, des galets ou cylindres, arrondis à leur partie supérieure et pouvant tourner très librement autour d'un axe vertical (voy. fig. 12). Un sac, mal placé sur la bande mobile ou débordant hors du transbordeur, vient-il

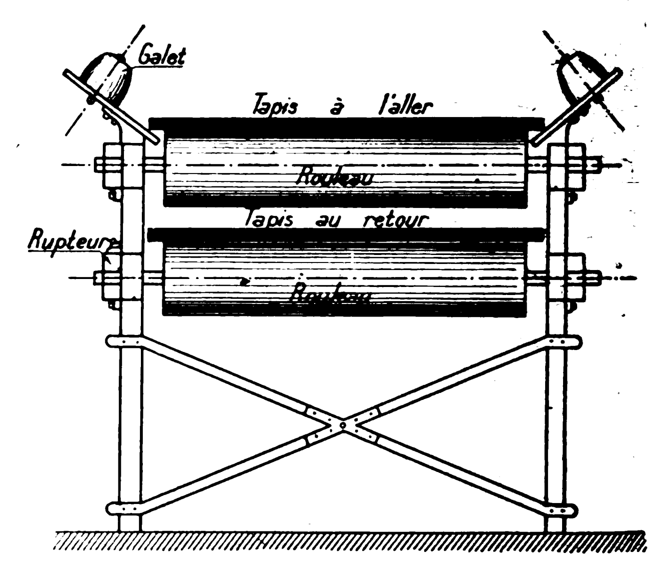


Fig. 12.

à rencontrer un galet, la partie reposant sur le tapis, étant toujours entraînée, oblige la portion du sac hors du tapis à venir tourner autour de ce galet et à prendre une position régulière. Les figures 13 et 14 montrent l'arrivée d'un sac occupant une mauvaise position sur le tapis roulant, et le redressement effectué par le galet.

k) **Plan incliné (section C).** — Longueur ; 21m,35 ; différence de niveau : près de 8 mètres.

En raison de la forte inclinaison et de la longueur de cette section, destinée à élever du sous-sol jusqu'au niveau des quais de la voie ferrée (1er étage) les sacs provenant des voitures pos-

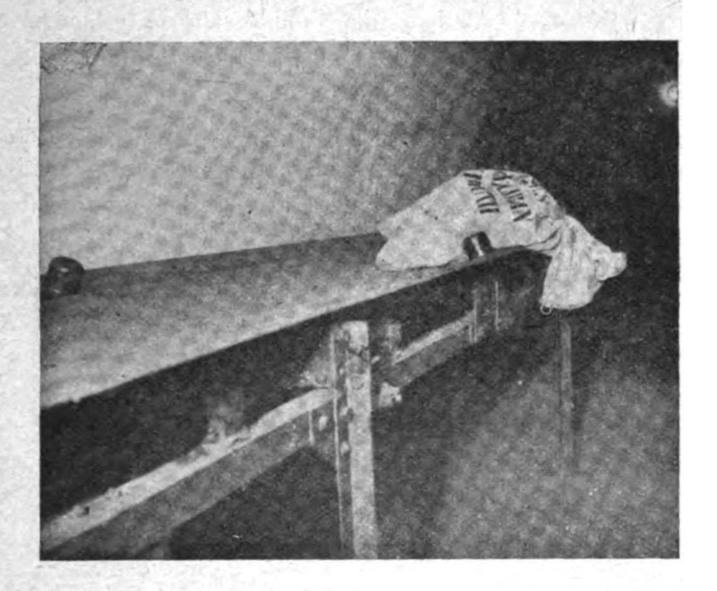


Fig. 13. — Arrivée d'un sac occupant une mauvaise position sur le tapis roulant.

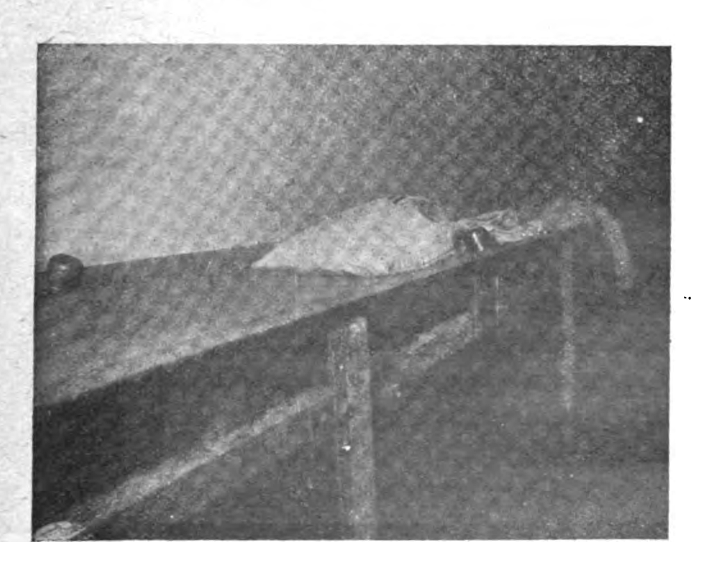


Fig. 14. — Redressement effectué par le galet.

tales, on a dû placer sur le tapis, dans le sens de la largeur et à des intervalles d'un mètre, des bandes de caoutchouc destinées à éviter le glissement des sacs le long de ce tapis.

Comme du côté de l'arrivée, et pour les mêmes raisons, l'extrémité du tapis est surélevée de $1^m,65$ au dessus du niveau du sol (voy. fig. 15). Des flancs-guides protègent les côtés

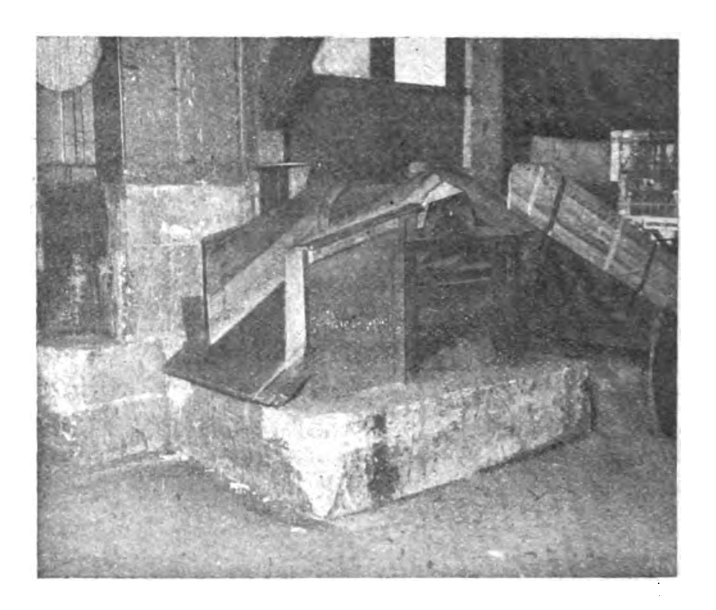


Fig. 15. — Fin du transbordeur du départ, près des voies ferrées.

extrêmes du tapis, et un plan incliné sert de déversoir sur le sol aux saos parvenus en fin de course qui ne seraient pas immédiatement enlevés.

Les wagons ambulants, placés sur la voie ferrée 21, sont facilement accessibles depuis l'extrémité du tapis : les sacs sont transportés à bras directement dans les voitures, sans utilisation des chariots.

Alimentation électrique.

Tableau de distribution. — Le tableau de distribution, logé dans l'espace libre entre les sections B-A et G-F permet de mettre successivement en marche les dynamos des différentes sections et de leur donner une même vitesse.

Le courant d'alimentation est fourni par l'administration des chemins de fer de l'Etat : c'est du courant continu, sous une tension de 125 volts, distribué par un seul pont alimentant les deux tapis de l'arrivée et du départ.

Dispositifs de sécurité. — Les transbordeurs étant mis en mouvement à partir du tableau de distribution, un seul chargeur—électricien suffit à surveiller, au sous-sol, le fonctionnement général des tapis. A cet effet, des liaisons téléphoniques seront réalisées entre l'arrivée et le départ, aussi bien qu'entre le tableau et les deux sections du transbordeur.

Cependant, si pour une cause quelconque, un encombrement venait à se produire en un point des transbordeurs, le surveillant peut instantanément arrêter le fonctionnement du transbordeur engorgé, au moyen d'un rupteur de courant placé sur chaque section des deux tapis. La position de ce rupteur, très facilement accessible sur le côté du bâti métallique supportant le tapis roulant (fig. 12), est indiquée par un repère très visible sur les murs des souterrains.

*
* *

Nous devons remercier ici M. Janin, ingénieur en chef, et M. Huart, des chemins de fer de l'Etat, ainsi que le directeur et le personnel de la direction des bureaux ambulants de la ligne Saint-Lazare, de leur obligeance à nous documenter et à nous faciliter la prise des photographies reproduites dans cette étude.

OPINIONS SUR LA RÉGLEMENTATION FUTURE DES COMMUNICATIONS RADIOMARITIMES : Service commercial et service de sécurité,

Par le Commandant LAGORIO,
Directeur du Service de la Télégraphie sans fil.

Préliminaires. — Les opinions émises au cours de cette étude me sont personnelles ; j'entends par là que l'administration des Postes et Télégraphes ne m'a point chargé de les livrer à l'examen et à la critique de ceux qui voudront bien en lire l'exposé. Elles n'engagent que moi, considéré en l'occurrence comme dégagé des fonctions que je remplis.

De plus il me paraîtrait excessif d'en revendiquer la paternité exclusive. D'autres peuvent les avoir conçues. Je tiens cependant à les consigner par écrit. Il est nécessaire, avant que s'ouvrent les débats d'une conférence radiotélégraphique internationale, de provoquer un choc des idées. La lumière jaillira d'autant mieux de la discussion que les idées fausses ou sans consistance — les miennes peut-être — auront été au préalable éliminées.

But de l'étude. — Cette étude a pour but la détermination de quelques principes qui me paraissent propres à guider la discussion au moment de la refonte des règlements internationaux sur les communications radio-maritimes.

Situation actuelle. Convention de Londres de 1912. — Les communications radiomaritimes sont régies par la convention internationale de Londres de 1912.

Largement conçue, la convention de Londres a permi jusqu'ici le développement des communications radiomaritimes sans une gêne excessive.

Elle fait sentir cependant des signes de faiblesse, elle manque d'adaptation à certains progrès realisés. On dirait en style familier moderne qu'elle n'est plus à la page.

D'une part, la technique a évolué ; l'utilisation de la lampe à 3 électrodes, d'abord dans la réception, puis dans les appareils émetteurs, a augmenté la portée des signaux et autorisé l'emploi de longueurs d'onde que les émetteurs à ondes amorties ne permettaient pas à bord des navires.

D'autre part, la T.S.F. s'est généralisée sur les navires. Elle n'a plus le caractère de tour de force scientifique qu'elle avait à sa naissance. Les appareils sont devenus plus faciles à manœuvrer, plus sûrs. Du mode de communication entouré de quelque mystère, connu de rares initiés, qu'elle était dans ses débuts, elle a passé dans le domaine de l'utilisation courante auquel chacun peut accéder sans une longue pratique et sans les aptitudes très spéciales qu'elle exigeait d'abord.

Convention de Londres de 1914 sur la sécurité de la vie humaine en mer. Décret du 6 avril 1923. — Le résultat de cette vulgarisation s'est vite produit. Deux années seulement après la convention de 1912, la convention de 1914 sur la sécurité de la vie humaine en mer était signée à Londres. Elle ne fut pas ratifiée en temps utile par la France, à cause de la guerre, mais le décret du 6 avril 1923 l'a rendue applicable à notre pays. Il ne s'agit plus de la T.S.F., privilège de quelques navires de luxe ou commodité de certains autres ; elle devient obligatoire en ce qu'elle constitue le meilleur moyen de signalisation pour appeler au secours. En fait, elle rentre dans le cadre des appareils, engins, et moyens de toutes sortes réglementés par l'administration de la marine marchande pour la sauvegarde ou le sauvetage des passagers et des équipages.

Évolution accomplie depuis 1912. — L'évolution depuis la convention de 1912 ne saurait échapper au moins clairvoyant. Le perfectionnement des appareils, leur commodité, la familiarisation du public avec la T.S.F., ont consacré la radio-

télégraphie comme mode pratique de communication. L'armement maritime pour l'envoi de ses instructions ou demandes de renseignements, les passagers pour leurs affaires diverses, utilisent largement les radiotélégrammes. De plus en plus les navires sont dotés des appareils émetteurs et récepteurs pour leur service privé ; et voici qu'à partir d'un certain tonnage, ou d'une certaine vitesse, ou d'un certain nombre de passagers, ces appareils sont imposés par l'État au titre de la sécurité.

Conséquences. — Le brouillage des signaux est la conséquence naturelle de l'augmentation énorme du trafic. Pour s'en affranchir au moins partiellement, les navires et les stations côtières passent de la longueur d'onde d'appel à une longueur d'onde de trafic. Mais comme les ondes amorties ne sont pas facilement éliminées, les inconvénients du brouillage ne manquent pas de se faire sentir fréquemment.

Considération sur les signaux de sécurité. — La convention de 1912 a bien prévu et réglementé les signaux de sécurité. Mais en 1912 la T.S.F. — je le répète — n'était pas utilisée sur les navires au point de faire craindre un brouillage intense. De plus, l'emploi des ondes entretenues à l'émission n'y était pas entrevue. Les prescriptions relatives aux signaux de sécurité furent laissées dans le cadre des signaux radiotélégraphiques en général, en ce qui concerne la longueur d'onde. Et ce fut très normal. Puisque les bâtiments veillent sur une longueur d'onde d'appel, il faut bien que cette longueur d'onde soit commune aux signaux commerciaux et aux signaux de sécurité pour que la veille entende les signaux de sécurité quand ils passent ; et l'écoute sera efficace, puisqu'on ne redoute pas un brouillage nuisible ou dangereux, et que le passage de l'onde d'appel sur une onde de trafic apparaît encore comme une facilité et non comme une nécessité.

Déjà en 1912 des exemples avaient démontré l'importance capitale de la T.S.F. comme moyen de sécurité. L'emploi n'en était pas encore entré suffisamment dans les mœurs maritimes

pour imposer les appareils radioélectriques comme engin de sécurité, au même titre que les bouées, les embarcations ou les radeaux.

En 1914, les idées ont marché : la T.S.F. reçoit officiellement, internationalement, un brevet de moyen de sécurité obligatoire. Elle est imposée sur les navires présentant certaines caractéristiques.

Il convient de remarquer tout de suite que la convention de 1914 autorise l'emploi de récepteurs automatiques du signal de sécurité. Divers récepteurs automatiques ont été essayés, mais il n'en existe pas encore en service courant. Je ne veux pas porter un jugement sur les appareils eux-mêmes qui sont peut-être excellents. Je me borne à discuter le principe même d'un appel automatique chargé de fonctionner seulement sur la réception de lettres déterminées. Vouloir lier la question si importante de la sécurité au fonctionnement d'un appareil qui recevra sans broncher les émissions sur 600, communes aux signaux radiotélégraphiques privés et aux signaux de détresse, tant que les trois lettres SOS ne seront pas émises, me paraît très aléatoire. Les lettres SOS se trouvent dans certains mots. Par ailleurs le réglage de l'appareil peut ne pas rester absolument constant. N'y eût-il qu'un nombre infime de chances pour que l'appareil fonctionnât à faux, ce serait déjà trop.

La sécurité de la vie humaine mérite davantage. Ceux qui auront la charge de la réglementation internationale y toléreront-ils une part d'aléa ? Je ne le crois pas.

Nécessité d'une longueur d'onde particularisée aux signaux de sécurité. — Je crois, j'ai la conviction, que la sécurité de la vie humaine a droit à la propriété d'une longueur d'onde spéciale, protégée de part et d'autre par une bande suffisamment large pour défendre les signaux qui lui sont propres contre l'intrusion de tout autre signal.

Il n'y a rien là que de très normal. Chaque organisme de sécurité possède un moyen qui lui est personnel de se faire entendre, soit pour obtenir la voie libre et circuler rapidement,

soit pour avertir d'un événement ou de certaines mesures à prendre. Ainsi la trompe des automobiles des sapeurs-pompiers, le tocsin des cloches, et tant d'autres.

A la mer, les signaux de sécurité se composent de deux parties distinctes :

1° un signal d'alarme proprement dit ;

2° des signaux précisant l'indicatif du navire et sa position géographique.

Avec une longueur d'onde spéciale et bien protégée, le signal d'alarme peut actionner un avertisseur automatique même si les lettres transmises ne sont pas conformes au signal réglementaire. Par ailleurs, le signal d'alarme est assez long pour qu'un opérateur ait le temps de prendre le casque et de recevoir les signaux de l'indicatif du navire et de sa position géographique.

L'attribution à la sécurité d'une longueur d'onde particularisée et protégée est d'autant plus nécessaire que déjà les navires équipés en amorties passent fréquemment leur trafic sur une longueur d'onde différente de l'onde d'appel, et que cette façon d'agir sera générale avec les entretenues. Le signal de détresse fait sur l'onde d'appel risque donc de ne pas être perçu par un navire situé à proximité et en train d'en écouter un autre sur une onde de trafic. Ces conditions nouvelles n'ont pas été entrevues dans la convention de 1912. Enfin beaucoup de navires n'ont pas une écoute permanente. Certains ont la veille à des heures indéterminées.

Nécessité d'une réception spéciale pour les signaux de sécurité sur les bâtiments à service commercial. — Les considérations qui précèdent doivent tendre non seulement à faire attribuer une onde spéciale aux signaux de sécurité ; mais aussi à faire établir une réception spéciale pour les signaux de sécurité à bord de tout navire ou dans toute station côtière qui emploie une onde de trafic différente de l'onde d'appel. La réception spéciale est évidemment inutile sur les navires qui ne possèdent la T.S.F. qu'au titre de la sécurité, et sans licence d'exploitation.

Cette réception spéciale serait complétée par un avertisseur automatique sur tous les navires dont l'écoute ne serait pas permanente sur l'onde de sécurité : ceci implique le récepteur automatique sur les navires à licence commerciale écoutant sur les ondes de service commercial aussi bien que sur les navires classés en sécurité et n'assurant pas une écoute permanente.

Nature des ondes. — Un signal d'alarme doit être aussi perceptible que possible dans le cercle où se trouvent les navires qui pourront porter secours.

L'onde entretenue manipulée a des qualités remarquables pour le trafic commercial. Elle est généralement facile à séparer d'une voisine à 1/100 près, avec une réception bien syntonisée. Mais pour un signal d'alarme, elle est trop discrète. Il faut au contraire un émetteur qui fasse vibrer tous les récepteurs situés dans le cercle intéressant, qu'ils soient peu ou prou accordés sur la longueur d'onde de sécurité. A ce point de vue et si la portée des signaux était suffisante, la vieille émission directe — prohibée par les règlements — serait à remettre en honneur.

Certains parages de l'Atlantique, du Pacifique, de l'océan Indien, où les routes maritimes sont éloignées les unes des autres, nécessiteront des signaux de sécurité qui puissent avoir la chance d'aviser un navire situé à 300 ou 400 milles. Évidemment le sauveteur n'apparaîtra pas avec toute la rapidité désirable en pareil cas, mais s'il apparaît au bout de 30 ou 40 heures, il n'en sera pas moins le bienvenu, aux regards de naufragés en train de lutter pour la vie au large de toute terre.

Résumé. — En résumé, l'évolution de la technique et l'augmentation considérable des communications radiomaritimes doivent tendre à la séparation complète du service commercial et du service de sécurité.

Le service commercial a besoin d'appareils très précis, très discrets, permettant l'échange de télégrammes sans gêne réciproque pour les navires. La technique moderne permet de satisfaire aux exigences de l'exploitation radiomaritime.

Le service de sécurité exige une onde particularisée et protégée de part et d'autre par une bande suffisante ; il a besoin d'émetteurs assez puissants et assez perturbateurs pour impressionner les récepteurs situés dans un certain rayon. La technique possède déjà ces appareils. On pourrait dire qu'elle les possède trop.

Avec cette onde particularisée et des émetteurs à amorties, le signal d'alarme du signal de sécurité peut être donné par un récepteur automatique, déclenchant une sonnerie ou une sirène retentissante de façon à aviser l'opérateur qu'il doit ou se porter au casque s'il n'écoute pas à ce moment, ou interrompre son écoute commerciale et passer au casque de la réception des signaux de sécurité.

LES MATIÈRES PLASTIQUES ARTIFICIELLES,

Par René DUBRISAY,
Professeur à l'École nationale des Ponts et Chaussées.

GÉNÉRALITÉS.

On donne le nom de matière plastique à toute substance assez molle pour pouvoir être modelée par façonnage ou compression, et cependant assez résistante pour conserver la forme qui lui a été ainsi donnée, à la condition tout au moins de ne pas subir d'actions trop violentes. Les matières plastiques ne sont donc ni des solides indéformables ni des liquides qui épousent indifféremment la forme des vases qui les contiennent : elles doivent posséder ce qu'on appelle vulgairement l'état pâteux. La cire à modeler en fournit un exemple typique.

On ne peut ni mesurer ni même définir exactement la plasticité d'un corps : on conçoit cependant que cette propriété se rattache à l'existence simultanée d'autres propriétés qui sont, elles, susceptibles de définition ou de mesure : je veux dire la dureté, l'élasticité et la rigidité.

Les matières plastiques employées en technique doivent en outre, quand le façonnage est achevé, pouvoir, au moyen de transformations convenables, être fixées définitivement dans la forme qui leur a été communiquée. L'argile délayée dans l'eau peut être façonnée par moulage ou travail à la main ; mais, après cuisson, les produits deviennent indélayables et indéformables. C'est là le principe de l'industrie céramique.

Il est des produits plastiques qui sont connus depuis la plus haute antiquité, comme les pâtes céramiques ou le plâtre gâché ; il en est d'autres, au contraire, dont l'emploi ne remonte guère à plus de cinquante ans ; ce sont les matières plastiques artificielles connues sous le nom de celluloïd, galalithe, bakélite, etc.,

qui feront plus spécialement l'objet de cette étude. La connaissance complète de ces produits ne peut résulter que de la coordination de deux séries de recherches : c'est d'abord une étude purement chimique dans laquelle on détermine la nature des substances mises en œuvre pour la préparation de la masse initiale, les réactions de durcissement, et enfin la constitution de la matière durcie ; c'est ensuite la détermination des propriétés physiques et mécaniques caractérisant le produit final et des relations existant entre ces propriétés et la structure de la masse durcie.

Il ne saurait entrer dans le programme de cette conférence de parler en détails des pâtes céramiques ou des mortiers de plâtre : j'en dirai toutefois quelques mots. C'est là, en effet, un exemple relativement simple, où les constituants initiaux sont assez bien connus et où le mécanisme de durcissement a pu être assez complètement analysé. En outre, l'interprétation des phénomènes observés a fait, de la part de M. le Chatelier, l'objet d'un exposé particulièrement net et précis dont le résumé éclairera sans doute les questions qui seront traitées par la suite.

On constate au microscope que les argiles sont constituées par de très petits cristaux lamellaires. Si on les gâche avec de l'eau, cette eau mouille les faces des cristaux, y adhère par capillarité, de telle sorte que la masse acquiert une certaine consistauce. Des déformations restent cependant possibles, les cristaux pouvant se déplacer les uns par rapport aux autres, comme les diverses cartes d'un jeu posé sur une table sont susceptibles de glisser sans se séparer. Au cours de la cuisson, l'eau s'évapore et les cristaux se rapprochent en même temps que les silicates d'alumine qui constituent l'argile subissent des transformations encore mal définies. En tous cas, la distance qui sépare les cristaux devient assez faible pour que les actions moléculaires assurent la rigidité de la masse.

C'est par des considérations tout à fait analogues que l'on peut expliquer la plasticité du plâtre gâché. Mais ici le mécanisme du durcissement est mieux connu. On sait en effet que le plâtre cuit est formé par des cristaux d'hémihydrate de sul-

fate de calcium, et que cet hémihydrate est plus soluble que le dihydrate qui constitue les cristaux de gypse. D'après les lois de la thermodynamique, l'hémihydrate doit donc, au contact de l'eau, se transformer en dihydrate moins soluble. Dans le plâtre gâché, cette réaction s'accomplit aux dépens de l'eau en excès, qui disparaît ; les cristaux de dihydrate se trouvent alors en contact les uns avec les autres et peuvent adhérer comme les cristaux d'argile après cuisson.

Les matières plastiques artificielles ont une constitution beaucoup plus complexe et restée jusqu'ici plus mystérieuse. Tout ce que l'on s'accorde à reconnaître, c'est qu'elles appartiennent à la catégorie des colloïdes. Il n'est d'ailleurs nullement certain que ce caractère les distingue essentiellement des produits dont nous venons de parler : on sait que les argiles peuvent exister en solutions colloïdales. En tout cas, pour la compréhension de ce qui va suivre, il me paraît utile de rappeler succinctement l'état de nos connaissances sur la physicochimie des colloïdes.

Propriétés générales de l'état colloïdal. — Le mot de *colloïde* a été introduit dans la science en 1861 par Graham, qui a donné ce nom aux corps qui, mis en solution, ne sont pas susceptibles de traverser la membrane de parchemin d'un dialyseur. Graham observa en outre que, contrairement aux solutions ordinaires, les solutions colloïdales évaporées ne déposent pas de cristaux : d'où la distinction des corps en *colloïdes* et *cristalloïdes*. Cette définition n'est pas absolue ; la diffusibilité des solutions varie en effet avec la nature de la membrane. En outre, il y a des corps comme l'albumine qui ne dialysent pas et sont cependant susceptibles de cristalliser. Toutefois la distinction établie par Graham est généralement suffisante dans la pratique et l'on peut la tenir tout au moins pour approchée.

Par la suite, on a reconnu que les solutions colloïdales étaient optiquement hétérogènes, c'est-à-dire que l'on pouvait, grâce à l'emploi d'un appareil appelé ultramicroscope, y distinguer la présence de particules en suspension dans le sol-

vant. Enfin l'étude de diverses propriétés a permis de reconnaître l'existence de caractères spéciaux fréquents dans les solutions de corps colloïdaux : c'est, par exemple, leur rigidité.

On peut interpréter les propriétés des solutions colloïdales ou sols au moyen de l'hypothèse suivante : on suppose que le sol est constitué par deux éléments : d'une part, le liquide dissolvant ou liquide intermicellaire ; d'autre part, le corps colloïdal qui flotte sous forme de particules très petites ou micelles, dont les dimensions varient de $1/10^4$ à $1/10^6$ de millimètre. Bien que très petites, les micelles sont donc beaucoup plus grosses que les molécules cristalloïdales : aussi suppose-t-on que ce sont des agrégats de molécules, ou des corps très fortement polymérisés. Cette hypothèse explique pourquoi les solutions colloïdales apparaissent hétérogènes à l'ultramicroscope, pourquoi les colloïdes ne peuvent dialyser, les micelles étant de dimensions supérieures à l'épaisseur des pores de la membrane, pourquoi enfin on peut, par centrifugation, séparer les micelles du liquide intermicellaire.

Ces considérations préliminaires étant admises, nous examinerons maintenant le phénomène qui nous intéresse plus spécialement au point de vue des matières plastiques : c'est le passage des colloïdes de l'état liquide à l'état solide. Ce passage porte le nom de *coagulation*, et on l'obtient soit par variation de température, soit par addition de certaines substances en faibles quantités. On donne le nom de *gel* au produit de la coagulation. Dans les solutions étendues, la coagulation se produit avec floculation, c'est-à-dire que des flocons très nombreux de gel se séparent de la solution. Mais il arrive aussi que le sol peut se prendre en masse en donnant un solide plus ou moins rigide d'aspect homogène. C'est ce que l'on obtient avec la gélatine ou les solutions de silice longtemps dialysées.

Structure des gels. — L'examen ultramicroscopique des gels obtenus par floculation montre qu'ils sont, comme les sols eux-mêmes, formés par une multitude de particules serrées les uns contre les autres. On est donc conduit à leur attribuer

une structure identique à celle des colloïdes liquides, les micelles y étant seulement plus rapprochées. Par analogie, on attribue la même constitution aux gelées résultant de la prise en masse des sols : ces gelées seraient des sortes d'éponges formées par le groupement des micelles et, entre les espaces restés libres, le liquide pourrait se maintenir par capillarité. Cette hypothèse est justifiée par le fait que l'on a pu, dans certains cas, séparer par pression les deux phases constituantes (expérience de Hardy sur les gelées d'agar-agar).

Une propriété caractéristique des gels est le pouvoir qu'ils possèdent d'absorber des quantités importantes de liquide en se gonflant ou, comme l'on dit, en se gélatinisant. C'est ainsi que la gélatine peut absorber jusqu'à 96 °/₀ de son poids d'eau : elle se gonfle également dans l'acide acétique ou la glycérine. Il en est de même du caoutchouc au contact du sulfure de carbone et de la benzine, des nitrocelluloses en présence d'acétone, d'éther ou d'alcool. Cette propriété concorde très bien avec la structure que nous avons supposée pour les gels. Le phénomène peut d'ailleurs aller plus loin, la gelée retournant à l'état liquide ; c'est ce que l'on observe avec la gélatine en présence d'eau ou la nitrocellulose au contact d'un mélange d'éther et d'alcool : on dit alors qu'il y a *peptonisation* ou *peptisation.*

Inversement, il peut arriver que, sous l'influence de la chaleur ou de certaines actions chimiques, un gel perde la propriété de gonfler et de repasser à l'état de sol. C'est ce que l'on observe pour la gélatine ou la caséine traitées par l'aldéhyde formique : on dit qu'il y a *pectisation.*

Au point de vue mécanique, les gelées présentent des propriétés spécialement intéressantes. On a, à ce point de vue, plus spécialement étudié le caoutchouc. Des mesures analogues ont été faites sur le celluloïd, la viscose, etc... et dans tous les cas une certaine élasticité a pu être mise en évidence. En outre, de même que les sols, les gels manifestent de la rigidité. Ces corps étant à la fois élastiques et rigides, on conçoit qu'ils constituent bien des masses plastiques.

D'après ce que nous avons dit relativement à la structure des

gels, on peut admettre que l'origine de cette plasticité est du même ordre que celle des pâtes céramiques. Ici encore, les micelles peuventglisser les unes par rapport aux autres, ainsi que le font les cristaux de silicate d'alumine dans les pâtes d'argile.

Il convient d'ailleurs de signaler que, si l'on abandonne un gel pendant un temps suffisant, le dissolvant qu'il contient peut s'évaporer, en même temps que la rigidité augmente et que la masse durcit. C'est ce que l'on observe (en particulier), pour les gelées de gélatine ou de nitro-cellulose. La matière travaillée peut alors conserver la forme qui lui a été communiquée, ainsi qu'il arrivait pour la porcelaine cuite ou le plâtre durci. Il y a toutefois une différence : c'est qu'alors que la porcelaine perd par cuisson la propriété de se délayer sous l'influence de l'eau, les gels peuvent, comme il a été dit, gonfler et se ramollir au contact de solvants appropriés. Pour le celluloïd, la chose n'a pas grande importance, étant donné que l'on peut toujours en éviter le contact avec les liquides organiques qui sont seuls susceptibles de le gonfler. Mais il n'en va plus de même pous les objets en caséine ou en gélatine, qui peuvent se ramollir au contact de l'humidité atmosphérique. On obvie à cet inconvénient en pectisant ces matières par l'action de l'aldéhyde formique, qui rend les gels irréversibles : c'est là le principe de la fabrication des objets en galatithe (caséine insolubilisée).

MATIÈRES PLASTIQUES D'ORIGINE CELLULOSIQUE.

Propriétés générales de la cellulose. — La cellulose est un constituant essentiel du bois et des fibres textiles. Le lin, le coton, sont de la cellulose à peu près pure ; le bois en contient, suivant les espèces, des proportions variables pouvant atteindre 50 °/₀. On extrait la cellulose du bois par traitement aux solutions de bisulfites alcalins, qui laissent la cellulose inaltérée et dissolvent les autres constituants : c'est le procédé de préparation de la pâte de bois utilisée en papeterie.

L'analyse élémentaire conduit à attribuer à la cellulose la formule brute $(C^6 H^{10} O^5)^n$; mais on n'a jamais pu jusqu'ici

déterminer le poids moléculaire de ce corps, c'est-à-dire la valeur du coefficient p ; il est même vraisemblable que ce coefficient varie d'un échantillon à l'autre. *A fortiori*, on n'est pas parvenu à déterminer la formule de structure, c'est-à-dire la façon dont les atomes sont groupés dans la molécule. On a bien proposé divers schémas représentatifs, mais leur justification procède uniquement de conceptions théoriques. J'indiquerai seulement que, pour faciliter la représentation des dérivés nitrés, on attribue souvent au coefficient p la valeur 4 et l'on admet dans la molécule, qui contiendrait 24 atomes de carbone, l'existence de 12 groupements oxhydriles alcooliques. La formule développée serait alors $C^{24} H^{28} O^{8} (OH)^{12}$.

La cellulose est une substance solide, blanche, insoluble dans l'eau, mais paraissant s'y gonfler. Elle se dissout dans la liqueur de Schweitzer et dans le chlorure de zinc en donnant des solutions visqueuses qui semblent présenter une structure colloïdale. Elle résiste assez bien à l'action des divers agents chimiques : les solutions d'alcali diluées ne l'altèrent pas. Les lessives plus concentrées la transforment en une combinaison appelée *alcali-cellulose*, qui est détruite par l'action de l'air sec avec régénération de la cellulose : c'est le principe du *mercerisage*, qui rend les fibres de coton plus brillantes et plus résistantes.

L'action des acides est plus complexe. En présence d'un agent déshydratant, ils donnent naissance à des produits particuliers que l'on admet être de véritables éthers-sels ; les plus importants et les plus anciennement connus sont les éthers nitriques ou nitro-celluloses. On prépare les nitro-celluloses en faisant agir sur le coton un mélange sulfo-nitrique : suivant la température et la durée d'action du bain, on obtient ainsi des produits plus ou moins riches en azote. Pour les distinguer, on les désigne par les notations $n = 1, 2, \ldots 11, 12$, n désignant le nombre des oxhydriles éthérifiés dans la formule en C^{24} indiquée plus haut. Tous ces éthers sont solubles dans l'acétone et l'acétate d'amyle ; les dérivés correspondant à une valeur de n inférieure ou égale à 10 (CP_1) sont en outre solubles dans le

mélange d'éther et d'alcool ; les CP_2 ($n > 10$) sont insolubles dans ce mélange.

Parmi les autres éthers de la cellulose, on peut citer les acétates, qui dérivent de l'acide $CH^3 - CO^2H$. On ne peut les préparer par action de l'acide acétique en présence d'un déshydratant; il y a en effet, dans ce cas, non pas éthérification mais hydrolyse de la cellulose. On les obtient par action sur le coton d'un mélange d'anhydride et d'acide acétiques. Les produits les plus riches en acide sont insolubles dans l'acétone, tandis que les éthers inférieurs (pour lesquels n est compris entre 2 et 3) sont solubles dans ce liquide.

Je mentionnerai enfin le xantogénate de cellulose ou *viscose*, que l'on prépare par l'action du sulfure de carbone sur l'alcali-cellulose. On obtient ainsi des solutions très visqueuses, qui, au bout d'un certain temps, se décomposent en abandonnant une gelée de cellulose libre.

Matières plastiques cellulosiques. — On peut gélatiniser la cellulose au moyen d'une solution de chlorure de zinc. La gelée obtenue se soude à elle-même et peut ainsi être transformée en plaques, d'où le solvant est éliminé progressivement. Finalement, ces plaques sont pressées, calandrées et livrées à l'industrie. On obtient ainsi une masse qui se laisse travailler aux machines et est mauvaise conductrice de la chaleur et de l'électricité. On l'appelle *fibre vulcanisée*. On peut également préparer une solution colloïdale de cellulose en traitant dans un appareil spécial (moulin colloïdogène) de la poudre de bois en présence d'une solution de soude. Le colloïde obtenu est coagulé par un acide; après neutralisation et séchage, il peut être moulé ; la matière ainsi préparée aurait un pouvoir isolant considérable (55.000 volts sous $3^{mm},5$).

Enfin la viscose coagulée donne des blocs compacts de cellulose qui porte le nom de *viscoïd* ou *viscolite*. On les transforme en feuilles minces, vendues sous le nom de *cellophane*.

Mais les matières plastiques les plus intéressantes provenant de la cellulose sont incontestablement les éthers cellulo-

siques, dont les plus anciennement connus portent le nom de *celluloïd*.

Le celluloïd a été découvert en Amérique par J. Hyatt qui, vers 1863, était, avec son frère, imprimeur à Albany dans l'état de New-York. A cette date, fut mis au concours un procédé permettant de remplacer l'ivoire dans la fabrication des billes de billard. Hyatt, aidé de son frère, étudia la question et songea à utiliser la pulpe de papier comprimée ou les poussières d'ivoire agglomérées par pression : les boules ainsi obtenues étaient vernies au moyen d'une solution de nitrocellulose dans le mélange éther—alcool. Plus tard, les inventeurs songèrent à employer cette solution non plus comme vernis superficiel, mais comme agglutinant; enfin, en 1870, ils eurent l'idée de mélanger à chaud du camphre à l'éther nitrique : le celluloïd était découvert.

En effet, les nitrocelluloses, telles qu'on les obtient par dissolution dans le mélange éther — alcool du produit de la nitration et évaporation du dissolvant, ne sont que des matières plastiques médiocres. Elles ne se ramollissent pas à chaud, ne sont pas moulables, se travaillent mal aux machines-outils et sont plus ou moins cassantes. Si au contraire on a incorporé du camphre à la masse primitive, le produit se ramollit vers 80° et peut être moulé; après durcissement, on peut le tourner et le raboter; le camphre a agit comme un agent plastifiant. On a longuement discuté sur l'origine de ce pouvoir plastifiant du camphre : il semble pouvoir se rattacher à des faits bien connus et signalés dans l'étude générale des colloïdes. Le camphre est en effet un dissolvant des celluloses nitrées; il doit donc pouvoir les gonfler comme fait l'eau pour la gélatine, et l'on a vu que la gélatine gonflée était beaucoup plus plastique et malléable que la gélatine desséchée. Mais, lorsque l'eau s'élimine par évaporation, la gélatine perd ses propriétés plastiques ; ici, au contraire, le camphre n'est pas volatil. En tous cas, une masse de nitrocellulose chargée de camphre peut être travaillée à chaud par moulage et soufflage, et, après refroidissement être définitivement façonnée par tournage ou polissage.

L'industrie livre le celluloïd en blocs ou en joncs, que l'on prépare en mouillant des plaques de nitrocellulose à l'alcool camphré. On fait passer simultanément un certain nombre de ces plaques dans des presses à chaud : elles se soudent entre elles, et l'on obtient finalement des blocs compacts, que l'on peut travailler par les procédés indiqués plus haut pour en faire des peignes, des films cinématographiques et divers articles de bimbeloterie.

Toutefois on connaît l'inconvénient fondamental du celluloïd : il est inflammable, et sa combustion peut même se transformer en explosion. Aussi cherche-t-on à lui substituer l'acétate de cellulose. Les éthers acétiques de la cellulose ont été découverts en 1869 par Schützenberger. Depuis cette époque, ces corps ont été étudiés par divers chimistes, mais ce n'est que dans les premières années de ce siècle que le produit a pu être fabriqué industriellement par les usines Bayer. Pendant la guerre, l'industrie de l'acétate de cellulose fut créée en France pour les besoins de la défense nationale; à l'heure actuelle, la fabrication des masses plastiques à base d'acéto-cellulose ne cesse de se développer : l'un des principaux débouchés semble devoir en être la fabrication des films cinématographiques ininflammables.

Nous avons décrit déjà le principe de l'éthérification des celluloses par l'anhydride acétique. Je rappelerai seulement que les dérivés les plus riches ne sont pas solubles dans les solvants usuels : on est alors amené à hydrolyser les acétates supérieurs primitivement obtenus, de façon à les transformer en produits solubles. De même que les nitro-celluloses, les acétates doivent être plastifiés par incorporation d'un corps qui joue le même rôle que le camphre pour le celluloïd ; les plastifiants proposés sont extrêmement nombreux : triacétine, phtalate diméthylique, etc...

La fabrication des objets en acétate de cellulose est calquée sur le travail du celluloïd. On prépare ainsi des peignes, des articles de dessin, des plaques pare-brise, des verres de lunettes, etc... On a également préconisé l'emploi des bacs

d'accumulateurs en acéto-cellulose ; il semble toutefois que la résistance de ces bacs à l'acide sulfurique n'est pas suffisante. Enfin un usage très important des éthers acétiques est leur emploi sous forme de vernis. On a pendant la guerre consommé des quantités considérables d'acéto-cellulose pour le vernissage des toiles d'avions : c'est que ce vernis, en même temps qu'il communique au tissu une imperméabilité remarquable à l'eau et aux gaz, en augmente la résistance dynamométrique. Dans l'industrie électrique, on prépare des fils dits émaillés, par trempage de fils de cuivre dans des solutions acétoniques d'acétate de cellulose, additionnées d'un plastifiant.

Résines synthétiques.

Bakélites. — En présence de catalyseurs convenables, les phénols sont susceptibles de réagir sur les aldéhydes d'après une des réactions suivantes :

$$H-C\begin{matrix}\diagup\!\!\!\diagup O\\ \diagdown H\end{matrix} + C^6H^5OH \longrightarrow C^6H^4\begin{matrix}\diagup CH^2OH\\ \diagdown OH\end{matrix} \quad \text{alcool oxybenzylique ;}$$

$$H-C\begin{matrix}\diagup\!\!\!\diagup O\\ \diagdown H\end{matrix} + 2\,C^6H^5OH \longrightarrow CH^2\begin{matrix}\diagup C^6H^4OH\\ \diagdown C^6H^4OH\end{matrix} + H^2O.$$

dioxyphénylméthane

Les corps ainsi obtenus (alcool oxybenzylique et dioxyphénylméthane) peuvent se condenser sur eux-mêmes en donnant naissance à des produits de formules compliquées et encore mal connus. La chimie de ces corps reste mystérieuse; on est parvenu cependant à en tirer un parti considérable dans la fabrication des résines artificielles désignées sous le nom de *bakélites*, du nom du chimiste américain Bakeland qui a mis au point leur préparation industrielle.

Pour obtenir les bakélites, on chauffe aux environs de 100° le phénol avec de l'aldéhyde formique et un catalyseur acide

ou alcalin ; on a ainsi des produits visqueux, solubles dans l'alcool, l'acétone et le phénol, que l'on désigne par la lettre A. Un chauffage effectué à température plus élevée donne des produits B, solides, friables, insolubles dans presque tous les réactifs, mais se gonflant dans l'acétone ou l'alcool. Enfin, en élevant encore la température, on obtient une substance encore plus condensée, insoluble dans tous les dissolvants, infusible, que l'on désigne par la lettre C. Les bakélites B se ramollissent par la chaleur et peuvent être moulées. Au contraire, les produits C ne sont pas plastiques, même à chaud. D'après Bakeland, la constitution de ces diverses catégories de produits résulterait des réactions suivantes :

1° Résines A :

$$2H - C\begin{matrix} /\!\!/ O \\ \\ \diagdown H \end{matrix} + 2\,C^6H^5OH \longrightarrow 2\,C^6H^4\begin{matrix} \diagup CH^2OH \\ \\ \diagdown OH \end{matrix} \longrightarrow H^2O + \begin{matrix} & CH^2OH \\ C^6H^4 \diagup & \\ \diagdown & \\ & O \\ \diagup & \\ C^6H^4 & \\ \diagdown & \\ & CH^2OH \end{matrix}$$

2° Résines B :

$$3 \begin{matrix} & CH^2OH \\ C^6H^4 \diagup & \\ \diagdown & \\ & O \\ \diagup & \\ C^6H^4 & \\ \diagdown & \\ & CH^2OH \end{matrix} + HC\begin{matrix} /\!\!/ O \\ \\ \diagdown H \end{matrix} \longrightarrow 3H^2O +$$

$$+ CH^2 \begin{matrix} \diagup C^6H^4—CH^2O—C^6H^4—CH^2O—C^6H^4—CH^2O \diagdown \\ \\ \diagdown C^6H^4—CH^2O—C^6H^4—CH^2O—C^6H^4—CH^2O \diagup \end{matrix} O \text{ ou } C^{43}H^{38}O^7 ;$$

3° Résines C : $n\,(C^{43}H^{38}O^7) \longrightarrow (C^{13}H^{38}O^7)^n$.

Pour transformer les résines B en résines C, il convient d'opérer sous pression. Cette précaution empêche en effet la décomposition de certains corps et le dégagement concomitant de

matières gazeuses qui rempliraient la masse de bulles et lui ôteraient toute résistance.

On prépare des vernis en dissolvant dans l'alcool les résines B. La couche sèche rapidement et résiste bien à l'humidité. En outre, si l'on chauffe entre 100 et 150° les produits (bois, papier, métal, etc...) ainsi vernis, il y a transformation en bakélite C qui est, ainsi qu'il a été dit, inaltérable dans tous les dissolvants connus (alcool, essence, huile, etc...). Pour certains usages, c'est là une propriété très intéressante. En outre, le pouvoir diélectrique des enduits ainsi constitués est considérable, et serait même supérieur à celui de la gomme laque. Ceci explique l'emploi des bakélites dans les industries électriques pour vernir les enroulements, le papier, le carton, etc...

On peut également préparer des pièces moulées en partant de résines A ou B que l'on additionne d'une charge (poudre de bois, amiante, talc, etc...). On moule à chaud, puis on passe à l'autoclave (bakéliseur) à la température de 150 à 175°. On réalise ainsi la transformation en bakélite C. C'est de cette façon que l'on fabrique des touches de piano, des boules de billard, et en général divers articles de bimbeloterie, que l'on peut colorer comme on fait pour le celluloïd. En électrotechnique, on prépare de la même façon des manches isolants, des poignées, des pièces de magnétos, etc... Le seul inconvénient des bakélites en leur dernier état de transformation est qu'on ne peut guère les façonner que par polissage. On ne peut les plastifier, puisqu'elles sont insolubles dans tous les réactifs connus : en outre, elles sont trop friables pour être travaillées aux machines-outils.

Résines d'acroléine. — L'acroléine est, au point de vue chimique, la plus simple des aldéhydes éthyléniques connues. On la prépare par déshydration de la glycérine suivant la réaction :

$$\begin{array}{l} CH^2OH \\ | \\ CH\,OH \end{array} \longrightarrow 2H^2O + \begin{array}{l} CH^2 \\ \| \\ CH \\ | \\ C{=}O \\ \diagdown \\ \quad H \end{array}$$
$$CH^2OH$$

Les agents déshydratants employés sont le bisulfate de potasse, le sulfate de magnésie anhydre, etc...

L'acroléine possède une odeur irritante, et, dès le printemps de 1915, on a envisagé son emploi dans la guerre des gaz. Mais on se heurta à une difficulté : c'est que ce corps est très instable et subit des polymérisations qui modifient profondément ses propriétés. Le professeur Moureu, en collaboration avec MM. Dufraisse et Lepape, étudia ces transformations en vue de stabiliser le produit, et reconnut qu'en présence de certains catalyseurs, en particulier des alcalis, l'acroléine se gélifie plus ou moins rapidement suivant la dose de réactif mise en œuvre : le liquide commence à se contracter tout en restant limpide et en devenant de plus en plus visqueux ; puis il y a brusquement passage à l'état d'un véritable gel, et l'on peut retourner le récipient sans que la masse s'écoule. La consistance est d'abord celle d'une gelée très molle, pour aboutir finalement à une matière solide, qui, en raison du retrait, se détache des parois du vase.

M. Moureu et ses collaborateurs ont étudié ce phénomène en suivant, au cours de la transformation, les variations d'une propriété physique convenablement choisie. Ils ont tout d'abord constaté que le retrait augmente de façon continue et semble même se poursuivre extrêmement longtemps. M. Moureu a ensuite étudié les variations du pouvoir isolant ; ce pouvoir isolant étant considérable, il a fallu adopter une méthode partilière, qui consiste à déterminer la vitesse de décharge d'un électroscope à feuilles d'or, isolé au moyen de la substance étudiée. On mesurait le temps employé par les feuilles d'or pour se rap-

procher d'un angle donné lorsque l'isolement était obtenu d'une part avec un produit fixe (l'ambre), d'autre part avec des gels d'acroléine d'âges différents ; puis on représentait graphiquement ces résultats en portant en abcisses l'âge du gel et en ordonnées le temps mesuré. Ce temps augmente constamment avec l'âge du gel et tend asymptotiquement vers celui qui correspond à l'ambre : ce qui revient à dire que, dans leur état final, les gels d'acroléine sont des isolants aussi parfaits que l'ambre.

On peut employer les résines d'acroléine comme matières plastiques, puisque, au cours de la transformation, elles passent par une phase pâteuse dans laquelle il est possible de les travailler par moulage. On trouve ces résines dans le commerce sous le nom d'*orca*. L'orca peut être tourné et poli, ce qui permet de confectionner des objets analogues à ceux que l'on prépare au moyen du celluloïd et des bakélites. Mais il est évident que c'est en électrotechnique que l'orca présentera vraisemblablement le plus grand intérêt, en raison de son remarquable pouvoir isolant.

*
* *

Du rapide exposé qui précède, il résulte que les matières plastiques dont on dispose à l'heure actuelle sont extrêmement nombreuses. Elles se distinguent entre elles aussi bien par leur constitution chimique que par leurs propriétés : grâce à cette diversité, l'industrie est susceptible de livrer à la technique moderne toute une série de produits pouvant répondre à ces différents besoins. Ceci explique pourquoi la fabrication des matières plastiques artificielles s'est, depuis cinquante ans, développée dans des proportions considérables ; si l'on en rapproche la fabrication similaires des soies et textiles artificiels, on peut dire qu'elle est en voie de prendre place parmi les industries chimiques importantes, tant par sa capacité de production que par les capitaux qui y sont engagés.

Malheureusement, il faut reconnaître que dans ce domaine les progrès industriels ont été plus rapides que les progrès scien-

tifiques. Nous avons vu que nos connaissances étaient encore très vagues, aussi bien au point de vue des réactions qui accompagnent la formation des masses plastiques, qu'au point de vue de la détermination de leur structure. Il ne faut donc pas s'étonner si l'on en est encore trop souvent au règne de l'empirisme et des tours de main. Ceci tient en partie à ce qu'il s'agit de substances solides et que l'étude physico-chimique des solides est beaucoup plus complexe que celle des corps volatils. De fait, on ne dispose pas de méthodes d'investigation permettant de résoudre les problèmes qui se posent.

Il ne faut pas d'ailleurs désespérer de la solution. L'industrie des matières plastiques artificielles est vieille de cinquante ans à peine, et la métallurgie remonte aux premiers âges de l'humanité ; cependant, il y a trente ou quarante ans, on n'avait pas, sur la constitution des alliages métalliques, des idées beaucoup plus nettes que celle que nous pouvons avoir aujourd'hui sur la structure des bakélites ou des celluloses nitrées. Pour que de rapides progrès soient accomplis, il suffit que l'on trouve, pour l'étude des gels colloïdaux, un procédé d'investigation analogue à ce qu'a été, pour l'étude des métaux, l'analyse thermique ou la métallographie.

DES MOYENS DE CORRESPONDRE DANS L'ANTIQUITÉ,[1]

Par Salomon REINACH.

Si une personne est à portée de m'entendre, je lui communique mes idées ou mes ordres en lui parlant. Si elle est trop éloignée pour percevoir ma voix, j'emploie des gestes. Si elle ne peut ni me voir ni m'entendre, il m'est loisible d'user de signaux, par exemple d'allumer un feu ou de frapper sur un gong. Enfin, si elle est trop loin pour percevoir des signaux, il faut recourir à un intermédiaire, à un messager. Ce messager peut être chargé de répéter mes paroles, au risque de les répéter de travers ; il peut aussi transmettre des signes matériels convenus. Les plus commodes de ces signes constituent l'écriture. Là où il y a organisation, par des particuliers ou par l'État, d'un corps de messagers portant des signes convenus, il y a, tout au moins, le rudiment d'un service des postes.

Remarquez que des cinq sens par lesquels nous connaissons le monde extérieur et communiquons avec lui, la vue et l'ouïe sont seuls en cause. Le toucher n'intervient que si l'un des correspondants est aveugle et déchiffre un message écrit en relief. L'odorat et le goût n'interviennent jamais ; on n'a pas encore imaginé — sauf peut-être dans quelque poème fantaisiste — une écriture d'odeurs, un alphabet de choses douces ou amères. Eût-on imaginé cela, ce seraient de mauvais instruments, car l'odorat et le goût, qui sont peut-être le même sens, n'ont chez l'homme civilisé qu'un développement rudimentaire. Alors que nous pouvons suppléer à la faiblesse de notre vue par des lunettes, à celle de notre ouïe par des microphones, nous ne savons pas encore aiguiser en nous le toucher, l'odorat et le goût. Pour l'odorat, c'est sans doute très heureux, car si certaines

---

(1) Conférence faite à l'École supérieure des P.T.T.

lunettes spéciales, portées sur le nez comme les autres, rendaient nos narines plus sensibles, nous ne pourrions pas rester une minute dans un grand magasin, dans un wagon de métro ni même dans certains bureaux de poste.

L'écriture si simple dont nous faisons usage et qui s'est répandue dans la plus grande partie du monde, a été inventée, vers l'an 1800 avant notre ère, par un petit peuple de commerçants établis sur la côte de Syrie, les Phéniciens. Mais il y a eu dans l'antiquité et il existe encore, notamment en Chine et au Japon, bien d'autres systèmes d'écriture qui sont infiniment plus compliqués et plus difficiles à apprendre. Il a existé aussi et il existe encore nombre de peuples qui ne connaissent aucun système d'écriture : ils se servent entre eux de signaux, de messagers qui répètent des paroles ou qui transmettent des signes convenus, non encore élevés à l'état d'une écriture. Ces différentes manières de communiquer ne s'excluent pas ; les plus rudimentaires peuvent coexister avec les plus raffinées ; les unes et les autres se trouvent tout du long de l'histoire et en tous pays. On vient de me téléphoner, de me parler à distance ; un instant après, un messager est venu me dire que l'on m'attendait le soir au coin du quai ; puis la cloche a sonné pour m'aviser de me mettre à table. Ce sont là des messages d'individu à individu ; mais qui ne se souvient des cloches sonnant à toutes volées pour nous annoncer la mobilisation, puis l'arrivée ou le départ des *gothas*, puis l'armistice ? Qui de nous, sur le bord de la mer, n'a observé le langage muet des phares et de leurs feux tournants ?

Au début de l'*Agamemnon* d'Eschyle, tragédie jouée à Athènes vers 460, on entend le veilleur de nuit, en faction sur le toit du palais d'Argos, se plaindre de la longue station qu'on lui impose : « Me voici encore, dit-il, épiant le signal du flambeau, la lueur enflammée qui, de Troie, nous portera la nouvelle de la victoire ». Tout à coup, une flamme lointaine jaillit : Troie vient de succomber, le message de feu l'a proclamé. Il y avait donc, entre la côte d'Asie et la ville d'Argos, un service organisé de signaux de feu qui avaient un sens convenu. Le veilleur

sur le toit du palais n'était que le dernier anneau d'une longue chaîne.

C'est à la même époque de l'histoire, presque fabuleuse encore, vers l'an 1200 avant notre ère, que se rapportent les événements chantés par Homère, dans de longs poèmes qui furent mis par écrit vers l'an 850. Bien que l'écriture fût en usage alors depuis de longs siècles en Égypte, en Babylonie, en Crète, même en Syrie, il n'est jamais question, dans Homère, d'une lettre missive. Tout se communique par des messagers bien stylés et des signaux. Toutefois, il y a un passage qui fait exception. Le roi Prætos veut se débarrasser du héros Bellérophon, qui lui fait ombrage ; il l'envoie à un autre prince, le roi de Syrie Iobate, muni de tablettes où il a tracé des *signes funestes* pour que le roi chez lequel le héros se rendra le mette à mort. Qu'est-ce que ces signes funestes ? On a discuté là-dessus sans fin ; on ne le saura jamais. Le poète ne le savait sans doute pas lui-même, mais ses auditeurs — car il n'avait pas encore de lecteurs — comprenaient qu'il s'agissait de signes convenus désignant le porteur comme un hôte indésirable. En effet, Iobate envoya Bellérophon pour combattre un monstre ; mais ce fut Bellérophon qui tua le monstre ; Iobate charmé lui donna sa fille en mariage.

Depuis quelques années, nous possédons des milliers de tablettes d'argile couvertes de signes, découvertes dans l'île de Crète et datant de 2000 à 1500 avant notre ère, preuve certaine qu'on savait écrire dans les îles de l'Archipel au moins mille ans avant l'époque d'Homère. Malheureusement, l'écriture de ces tablettes est encore indéchiffrable ; on n'en a jamais expliqué une seule. Mais entre les âges reculés qui virent fleurir la civilisation de la Crète et celui d'Homère, il y eut un recul de civilisation très marqué, dont la destruction violente des palais crétois suffirait à porter témoignage. Des barbares venus du nord, les futurs Hellènes, ont anéanti des royaumes florissants, et leur invasion a marqué le début de ce que l'on a appelé le moyen âge grec. Figurez-vous ce qu'eût été notre moyen âge occidental sans l'église, où continua du moins à brûler une petite flamme du passé gréco-romain ; c'eût été la nuit noire. Et que serait le

moyen âge qui, suivant certains pessimites, nous menace aujourd'hui, sans l'imprimerie qui conservera, quoiqu'il arrive, les conquêtes de la science? Vers 1300, semble-t-il, le secret de l'écriture crétoise fut perdu ; les Grecs n'apprirent à écrire que plus tard, en se mettant à l'école des Phéniciens. Ceux-ci savaient certainement écrire du temps d'Homère, et l'on peut en dire autant des Juifs. Comparez, en effet, dans l'Ancien Testament (II Samuel, 2) l'histoire de David et Uri à celle du roi Prætos envoyant Bellérophon au roi de Syrie Iobate afin de se débarrasser de lui sans se souiller de sang ; cela se place vers l'an 1030 avant notre ère et il est question d'écriture. Je vous rappelle cet incident peu édifiant de l'histoire du saint roi. David, se promenant sur la terrasse de son palais un beau soir, aperçoit Bethsabée, la femme de son général Uri, qui se lavait. Enflammé d'amour pour elle, il l'enlève et l'introduit dans son harem. Après quoi il rappelle Uri du front, lui fait un beau cadeau et le prie de rentrer chez lui, sans doute afin de couvrir, en époux complaisant, les conséquences éventuelles de la liaison du roi avec Bethsabée. Uri refuse de s'embusquer; il veut continuer à faire la guerre comme ses compagnons d'armes. Alors David le renvoie au front avec une lettre qu'il doit porter lui-même au général en chef de ses troupes. Elle était conçue en ces termes : « Mets Uri dans l'endroit où sera le plus fort du combat et laisse l'y seul pour qu'il périsse. » Le général en chef ne se le fait pas dire deux fois et bientôt il peut annoncer à David la mort d'Uri ; mais il ne lui écrit pas à ce sujet ; il envoie un messager à qui il a fait la leçon. Bethsabée prit le deuil de son mari ; le deuil passé, elle devint la femme légitime de David, et la mère de mon royal homonyme Salomon. « La chose que David avait faite déplut à l'Éternel », dit le narrateur sacré, et il montre ensuite David humilié par le prophète Nathan qui lui reproche sa conduite, puis bientôt frappé dans son affection par la mort du premier fils de Bethsabée, le fils de la faute. Ainsi la morale est sauve ; mais revenons à l'usage des signes funestes, qui sont plus discrets que l'écriture quand il s'agit de faire un mauvais coup et de nuire au prochain sans en avoir l'air.

Il y a quelques années encore, en Turquie, on délivrait souvent à des étrangers importuns des permissions de faire n'importe quoi, par exemple d'entreprendre une exploitation minière qu on appelait des *firmans* : seulement, la Sublime Porte faisait mettre un petit point d'encre, à peine visible, en haut du parchemin. Quand le porteur présentait ce firman pointé à un pacha de l'Empire, il était prié de repasser la semaine prochaine, puis le mois d'après, puis au bout de six mois, puis l'an prochain. Cette fois, le signe funeste, c'était le point. Il est vrai que le solliciteur, victime du firman *pointé*, était seulement condamné à mourir d'ennui. Depuis David et Homère, la civilisation a fait des progrès.

Les barres de nos chèques sont aussi des signes funestes, du moins pour celui qui en dérobe un ; quand il présente un chèque à une banque, on lui explique qu'il ne peut le toucher, et s'il s'embarrasse dans ses explications, on appelle peut-être les agents...

Un système assez ingénieux de correspondance secrète, où l'écriture prenait l'aspect de signes inintelligibles, était en usage dans l'armée spartiate. Un général partait-il pour la guerre ? On fabriquait deux baguettes rondes parfaitement semblables et on lui remettait l'une d'elles. Si un magistrat spartiate avait un ordre à lui communiquer, il enroulait en hélice une lanière mince autour de la baguette en ne laissant aucun vide ; sur cette lanière, il écrivait de bas en haut ce qu'il voulait. Puis il la déroulait et la confiait à un messager ; ce n'étaient plus que des têtes et des queues de lettres ; cela n'avait plus ni queue ni tête. Si le messager tombait aux mains de l'ennemi, celui-là n'y voyait goutte ; mais s'il arrivait jusqu'au général, celui-ci tirait sa baguette, enroulait avec soin la lanière et lisait le message sans difficulté.

C'était assez bien imaginé ; moins bien pourtant que ce que fit, vers l'an 500 avant notre ère, un seigneur de la cour du roi de Perse, qui conspirait contre son roi. Il avait un esclave malade ; sous prétexte de le guérir, il lui rasa entièrement la tête ; puis, avec un scalpel, il écrivit sa lettre sur le cuir chevelu

de l'esclave et laissa les cheveux repousser. Huit jours plus tard, il envoya l'esclave à son correspondant en le chargeant de ce simple message : *Rase ma tête*. Mais, pour correspondre de cette façon, il ne suffit pas d'avoir le goût de l'intrigue : il faut être un grand seigneur de la cour de Perse.

Ce même Darius, roi d'un des plus grands empires de l'antiquité vers 500 — ses domaines s'étendaient depuis l'Inde jusqu'aux Balkans — fut le premier, à notre connaissance, à créer un rudiment de service de postes, avec relais d'hommes et de chevaux ; les dépêches de l'État passaient rapidement d'un relais à l'autre. Mais cette poste royale n'était pas à la disposition des particuliers.

Un fait étonnant nous a été révélé en 1888 par une découverte faite en Égypte sur l'emplacement de la capitale d'un Pharaon qui régnait vers 1400. L'empire égyptien comprenait alors la Syrie et une partie de l'Asie. Des fellahs, travaillant sur l'emplacement aujourd'hui désert de cette capitale, découvrirent environ 300 tablettes d'argile qui avaient fait partie des archives royales. C'étaient les correspondances de petits princes d'Asie avec le roi d'Égypte. Mais, chose surprenante, ces missives étaient en babylonien, tracées avec les caractères en forme de clous, dits *cunéiformes*, qui constituent l'écriture très compliquée des Babyloniens. Quelquefois, la langue employée n'est pas celle de Babylone, mais l'écriture est toujours la même. Il y a là le plus ancien exemple d'un accord international pour faciliter les relations entre princes, quelque chose comme l'emploi du français dans la diplomatie des temps modernes. Voulez-vous un spécimen d'une de ces lettres ? Elle émane d'un roitelet asiatique : « Au roi d'Égypte, mon seigneur, son frère, roi du pays d'Alasiya, écrit cette lettre. Je suis en paix ; puisse la paix être avec toi, avec ta maison, tes filles, ton fils, tes femmes, tes chars, tes chevaux, tout ton pays. Mon ambassadeur apporte pour eux de précieux cadeaux. » Une autre lettre nous apprend de quels cadeaux il s'agit : de l'or et de l'argent, des masses de bronze et de plomb, des défenses d'éléphant, des sièges d'apparat. Les ambassades qui apportaient de tels cadeaux, avec des

missives gravées sur argile, devaient comprendre tout un cortège de chars et de serviteurs. Telle est la plus ancienne correspondance diplomatique qui soit venue jusqu'à nous.

Dans la Grèce ancienne, qui était morcelée en petits états, il n'y eut jamais de service de courriers comme en Perse. Les relations étaient entretenues par des messagers, généralement des esclaves. A Rome, sous la république, on se contenta de faciliter les communications par la construction de bonnes routes ; les personnages officiels recevaient des cartes qui leur permettaient de réquisitionner des moyens de transports ou des messagers. Quant au public, il se tirait d'affaire comme il pouvait au moyen de courriers. Dans les pays non encore soumis à Rome, la propagation des nouvelles d'intérêt politique était organisée, mais seulement, à ce qu'il semble, en temps de guerre ou quand la guerre menaçait. C'est ce que César nous apprend pour la Gaule. Lors de la grande révolte qui éclata en 52 avant notre ère, tous les commerçants romains furent massacrés le même jour à Orléans. Cette nouvelle, dit César, parvint en quelques heures à toutes les cités de la Gaule, par des cris qui se transmettaient de proche en proche. Ce qui s'était passé à Orléans au lever du soleil fut connu à la tombée du soir en Auvergne, alors que la distance est de plus de 200 kilomètres. César nous dit cela, mais sans entrer dans le détail. Évidemment, il n'eût pas suffi qu'un Gaulois, si haut parleur qu'on le suppose, eût gravi une colline pour crier de toute sa voix : « Les Romains ont été massacrés à Genabum (l'ancien nom gaulois d'Orléans). » Il fallait que le cri fût recueilli sur la colline voisine par un veilleur attentif, qu'il passât de ce dernier à un autre et ainsi de suite. Il y avait donc une sorte d'organisation pour la propagation des nouvelles et sans doute aussi, quoique César n'en dise rien, des courriers à pied et à cheval. Pris à la lettre, son récit est inadmissible, car il n'a jamais suffi de crier fort pour être entendu.

Pendant sa courte dictature, César essaya de doter l'empire d'un système postal ; mais ce fut Auguste qui l'institua. Voici ce qu'écrivit à ce sujet Suétone, un des historiens de cet empe-

reur : « Comme Auguste voulait apprendre plus aisément ce qui se passait dans chaque province, il disposa sur les routes militaires, à des intervalles rapprochés, de jeunes courriers, puis des voitures. » Pas d'autres détails. Cette organisation fut perfectionnée vers l'an 100 par l'empereur Trajan ; mais seuls de rares particuliers purent profiter de ce service d'État, que l'on appelait le *cours public*. Nous savons qu'il y avait des stations avec des écuries et des chevaux de rechange ; qu'il y avait des maisons de poste où l'on passait la nuit, car le service, sauf de rares exceptions, ne se faisait que de jour. Les animaux employés étaient des chevaux, des mulets, des ânes en orient, aussi des chameaux. Les courriers accomplissaient généralement leur travail à franc étrier, portant leurs dépêches dans un sac de cuir. Chaque courrier était accompagné d'un postillon, qui ramenait le cheval fatigué à la station d'où il venait, tandis que le courrier, montant un cheval frais à la station prochaine, continuait sa route au galop. Outre les courriers rapides pour les dépêches, il y avait des voitures à deux roues pour les voyageurs officiels pressés, et aussi des fourgons ou camions traînés par des bœufs pour transporter les soldats et leurs bagages. Les petites routes non militaires étaient desservies, aux frais des localités intéressées, par des courriers et des voitures auxiliaires. Les courriers ordinaires s'appelaient *veredarii* et les chevaux de poste *veredi* ; un cheval de poste réquisitionné ou de renfort était dit *paraveredus*. C'est de ce *paraveredus*, bien connu dans les provinces rhénanes, alors romaines, que dérive le nom allemand du cheval, *pferd*, qui a pourtant une apparence bien germanique ; telle est aussi l'origine du mot français *palefroi*. Ne croyez pas que ce soit le contraire et que *veredus* soit une forme latine de *pferd*, car *veredus* est un mot celtique, formé du préfixe *ve* et du mot celtique *rheda*, désignant une voiture à deux roues. *Rheda*, mot d'origine gauloise, avait passé en latin dès le Ier siècle, parce que les petites voitures étaient fort employées par les Romains et qu'elles étaient souvent conduites par des Gaulois. C'est ainsi que nous avons emprunté à l'anglais les mots de *tilbury*, de *cab*, de *dog car*, de *victoria*, etc...

L'usage de la poste impériale était réservée aux fonctionnaires de l'État, munis à cet effet d'une carte appelée *diplôme* qui devait être présentée à chaque station. Mais nous savons que l'on faisait commerce de ces diplômes et que la poste ne véhiculait pas seulement les ayants droit ; il s'agissait seulement de s'assurer par des moyens bien connus l'amitié des postillons impériaux. Cela d'ailleurs n'était pas sans danger ; vers l'an 400 une loi édicta la peine de mort contre ceux qui admettraient sur leurs voitures des marchandises privées ou des voyageurs payants ! Il fallait que l'abus fût bien enraciné pour qu'on le combattît par un remède aussi radical.

En principe, les frais de l'organisation postale étaient supportés par les provinces ; deux empereurs seulement, Hadrien et Alexandre Sévère, les imputèrent au trésor impérial. La réquisition des chevaux, qu'on n'avait pas d'intérêt à ménager, et sans doute aussi celle des postillons, donnaient lieu à de criants abus ; loin d'être un bienfait, le service postal était une corvée sans compensation pour les provinciaux, qui s'en plaignaient vivement et n'avaient pas tort.

Vous avez vu que le rudiment du service postal sous l'empire n'avait pas pour unique objet le transport des lettres, mais aussi celui de voyageurs et de marchandises : c'était un service de postes et de messageries, qualifié de *cursus publicus*, non pas qu'il fût à la disposition du public, comme on pourrait le croire, mais parce qu'il servait à la chose publique, c'est-à-dire à l'État. Que valait ce service, même au point de vue des besoins du gouvernement ? Sans doute fort peu de chose, et cela tout d'abord parce que les anciens, comme l'a très bien démontré M. le c[t] Lefebvre des Noettes, ne savaient tirer du travail animal, de la traction, qu'un parti très médiocre, faute d'avoir imaginé les procédés modernes d'attelage qu'on trouve seulement en France, sous les Capétiens, aux environs de l'an 1000. Nous savons, par le code dit Théodosien, publié en l'an 438, mais qui reflète un état de civilisation bien plus ancien, que les messageries impériales disposaient de plusieurs variétés de voitures, légères, moyennes ou lourdes. Pour chacun

de ces véhicules, la charge maxima est indiquée et il est défendu, sous des peines sévères, de la dépasser. Or de quelles charges s'agit-il? De 66 à 492 kilos au maximum. Employer deux chevaux ou deux bœufs à traîner une pareille charge, alors qu'un cheval ou un bœuf, avec le harnachement actuel, traîne facilement 1.500 kilos, n'est-ce pas avouer qu'on ne sait pas utiliser les animaux parce qu'on les attelle en dépit du bon sens ? Or cette maladresse n'était pas propre aux Romains; toute l'antiquité avait été, dans cette question d'ordre toute pratique, aussi mal inspirée qu'eux. La démonstration, faite pour la première fois par le c[t] Lefebvre des Noettes, est importante et constitue, je suis heureux de le dire ici, un notable accroissement de nos connaissances, tant il est vrai de dire que les techniciens et les archéologues ont beaucoup à apprendre les uns des autres.

Après la ruine de l'empire d'occident, c'est à peine s'il peut être question d'un service postal, bien que Clovis, Charlemagne et Louis le Débonnaire aient essayé de le rétablir. Les communications les moins irrégulières furent assurées par de riches corporations-universités, abbayes, guildes de marchands. C'est de cette époque presque sans poste que date pourtant le mot *poste*, qui a passé dans presque toutes les langues. *Poste*, c'est le bas latin *posita*, la station, le dépôt, le lieu fixe où l'on change de chevaux ; c'est pourquoi nous ne disons pas seulement *la* poste, mais *le* poste, signifiant aussi par là un lieu qui ne varie pas, un *positum*, où l'on doit monter la garde sans s'écarter.

Je ne vous raconterai pas, car ce n'est pas mon sujet, comment les premières postes françaises furent créées par Louis XI et comment le fut la poste internationale à la fin du XVI[e] siècle, par l'initiative hardie d'une famille milanaise, passée au service de l'empire d'Allemagne. Cette famille était celle des Torriani, qui possédait la région montagneuse de Tassis près de Bergame et qui subsiste encore à Ratisbonne, alliée par mariage aux Habsbourg, sous le nom germanisé de *Thurn und Taxis*. C'est toute une histoire que celle de ces énergiques orga-

nisateurs des services postaux, désormais accessibles à tous ceux qui voulaient payer pour s'en servir, soit pour expédier des lettres ou des ballots, soit pour voyager eux-mêmes. Peu à peu, comme les entrepreneurs et maîtres de poste gagnaient des millions, les différents États trouvèrent que le monopole était bon à prendre et à garder ; toutefois, en 1866 encore, il y avait des régions allemandes desservies par la vieille poste de Taxis, dont le monopole fut racheté par le gouvernement prussien. Mais tout cela devrait faire l'objet d'un exposé spécial.

Il me reste quelques mots à dire de la *poste aux oiseaux*. Les Grecs chargeaient des pigeons d'annoncer leurs victoires aux jeux ; les Romains se servirent des pigeons voyageurs pour transmettre des nouvelles aux villes assiégées. Ce qui surprend davantage, c'est qu'ils aient aussi employé à cet effet des hirondelles. Un chevalier romain, qui avait des attelages de course à quatre chevaux, emportait avec lui, au cirque de Rome, des hirondelles, pour les lâcher quand la course était finie, coloriées de la teinte du parti vainqueur. Une garnison romaine assiégée trouva moyen d'envoyer à Rome une hirondelle enlevée à ses petits ; les Romains attachèrent à sa patte un fil qui indiquait, par le nombre des nœuds, au bout de combien de jours la garnison serait secourue et quand elle devait faire une sortie. Mais comment les assiégés avaient-ils envoyé cette hirondelle à Rome ? voilà ce que l'histoire ne dit pas.

Résumons. Si le service de la poste est une commodité que l'État doit aux particuliers, moyennant des payements qui varient avec le poids et la distance à parcourir, on peut dire qu'il n'y a pas eu de poste dans l'antiquité, mais seulement des systèmes de relais pour assurer les services de l'État. Les particuliers se sont débrouillés comme ils ont pu en se servant de messagers, généralement des esclaves, ou parfois en corrompant les agents du service officiel. Comment expliquer, dans cet ordre d'idées comme dans tant d'autres, le peu d'esprit pratique et d'initiative des Grecs et des Romains ? Je crois qu'il faut répondre, ici comme ailleurs, que c'est la faute de l'esclavage. Quand on a des hommes presque pour rien, on abuse d'eux et

l'on ne s'ingénie pas à faire accomplir, par cent hommes libres, bien nourris et bien payés, la besogne que font mal mille esclaves mal nourris et qu'on ne paye pas.

Chaque fois qu'on étudie l'organisation matérielle des civilisations antiques, on est étonné de constater combien les progrès d'ordre mécanique y ont été lents, alors que les arts, la littérature, la philosophie y brillaient d'un éclat incomparable. De cela on peut donner trois raisons, dont la dernière est la plus importante. Il y a d'abord le préjugé aristocratique des philosophes contre tout ce qui est d'ordre utilitaire ; si j'avais le temps, je vous lirais à ce sujet la lettre 90 de Sénèque, qui est bien ce qu'on peut imaginer à la fois de plus éloquent et de plus absurde. Même ceux qui vivaient dans le luxe, comme Sénèque, lui-même, le condamnaient sous toutes ses formes, sans jamais se demander si l'amélioration de la condition des hommes ne dépend pas, dans une large mesure, d'inventions qui épargnent la fatigue et le gaspillage. Un des effets de ce préjugé a été de décourager les esprits ingénieux et entreprenants. Une seconde raison, qui explique la stagnation dont je parle, c'est le manque de toute disposition légale pour protéger les inventeurs en leur délivrant des brevets. L'unique trace que je trouve chez les anciens de l'idée de brevet est l'histoire piquante des cuisiniers de Sybaris, auxquels on reconnaissait, dit-on, pour un an, le monopole des plats inventés par eux. Les brevets d'invention ont paru en Angleterre d'abord, et seulement au XVIIe siècle. L'absence de protection oblige l'inventeur, s'il veut tirer parti de sa découverte, à la tenir secrète : aussi arrive-t-il qu'elle ne lui survit pas, comme celle de la gravure sur bois, certainement connue du temps de Varron, (50 av. J.-C.), qui semblait à Pline, vers 70 après J.-C., avoir « excité l'envie des dieux eux-mêmes », ce qui signifie probablement que le procédé en avait été perdu. Les anciens nous ont affirmé qu'on savait amollir l'ivoire, le rendre ductile ; or, si cela est vrai, la découverte reste à refaire, car tous les spécialistes que j'ai consultés me disent que l'ivoire se taille, mais ne se travaille pas à l'état mou. Mais le mal le plus profond

était l'esclavage ; j'écrivais à ce sujet en 1918, dans un mémoire sur les compteurs de vitesse connus dans l'antiquité, ces lignes que je demande la permission de vous lire :

« En fournissant une main-d'œuvre à peine rétribuée et très abondante, l'esclavage enlève le stimulant le plus efficace aux progrès de la mécanique ; aussi la voit-on, dans l'antiquité, chercher des succès éphémères dans des automates et d'autres combinaisons amusantes, plutôt que de contribuer à l'économie du travail humain. Pourquoi se donner du mal pour perfectionner les horloges quand les riches ont des esclaves qui viennent de moment en moment leur annoncer l'heure ?... Ctesibios connaît et utilise la force de l'air comprimé ; Héron n'ignore pas celle de la vapeur d'eau ; Pline observe des phénomènes électriques et en soupçonne les causes naturelles ; mais la science des applications se dégage à peine de la théorie et les pressentiments les plus justes des forces inconnues demeurent stériles. »

Si j'avais connu, en 1918, les recherches du c[t] Lefebvre des Noettes sur l'histoire de l'attelage, je n'aurais pas manqué de citer ce mémorable exemple à l'appui de la thèse que j'exposais.

La suppression de l'esclavage, qui ne fut d'ailleurs que graduelle, a été la cause la plus efficace des progrès mécaniques et des progrès sociaux. Il reste encore fort à faire avant que se réalise la prophétie de Victor Hugo : « Un seul esclave, la matière ; un seul maître, l'esprit », mais il faut convenir que le XIX[e] siècle nous a mis dans la bonne voie. Nous y persévérerons et nos descendants se rapprocheront de plus en plus de l'idéal rêvé par le grand poète, si des impatients et des sots, qui sont en réalité des arriérés et des rétrogrades, ne font pas couler le navire de la civilisation avant qu'il n'arrive au port. Cela s'est déjà vu et cela pourrait malheureusement se revoir. Il y a toujours des gens prêts à détruire, comme un enfant qui brise un jouet mécanique, ce qu'ils n'ont pas les moyens immédiats d'améliorer.

Notre civilisation tout entière est orientée vers l'économie de l'effort ; pour subsister et se développer, elle exige encore des

efforts assez durs; si ces efforts ne sont pas consentis de bon cœur, pendant que la science travaille à les rendre moins pénibles, on risque de revenir à un état de choses où l'effort individuel pour vivre, comme dans la Russie de nos jours, sera démesurément aggravé et non allégé.

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

La télégraphie par courants alternatifs aux fréquences musicales. (*Telegraphen-Praxis :* février 1924). — On a été obligé de remplacer les fils télégraphiques aériens par des lignes souterraines pour les mêmes motifs qui avaient conduit à remplacer de plus en plus les circuits téléphoniques aériens par des câbles souterrains. Les câbles étant moins exposés que les nappes aériennes aux influences de toute nature (troubles atmosphériques, perturbations causées par les lignes de traction ou de transport d'énergie voisines), le trafic s'y écoule dans de meilleures conditions.

Pour des raisons économiques, il est impossible de construire un réseau de câbles télégraphiques distinct du réseau de câbles téléphoniques interurbains. On ne voyait donc qu'une solution : écouler le trafic télégraphique sur des lignes renfermées dans les mêmes câbles que les circuits téléphoniques; mais alors on évitait difficilement que le trafic téléphonique n'eût à souffrir d'une manière ou d'une autre de l'application d'un pareil procédé ; il fallait donc éviter les troubles par induction engendrés sur les circuits téléphoniques par les courants télégraphiques et éviter d'être conduit à réserver à la télégraphie un nombre trop considérable de conducteurs. Enfin on devait s'efforcer de rendre le plus économique possible l'exploitation télégraphique, qui est actuellement onéreuse.

Toutes ces exigences peuvent être satisfaites, grâce au système de télégraphie multiple par courants alternatifs de fréquence musicale imaginé par les ingénieurs du laboratoire central de la maison Siemens et Halske, et que M. Luschen a expliqué au cours d'une conférence faite à la Société électrotechnique de Berlin. C'est en recourant aux tubes à vide, dont les appli-

cations sont multiples, que l'on est arrivé à résoudre ce problème.

On n'avait pas à se poser la question préalable de savoir si la télégraphie en courant alternatif était réalisable, car on avait à ce propos des résultats expérimentaux probants : dans nombre de cas, on peut utiliser le même code avec les courants alternatifs qu'avec le courant continu. Si, par exemple (voy. fig. 1), les signaux à transmettre sont formés d'impulsions positives de différentes durées et d'intervalles de repos pendant lesquels aucun courant ne passe sur la ligne (télégraphe Morse), ou encore d'impulsions de courants positifs et négatifs (télégraphe rapide Siemens), on peut les reproduire par un nombre plus ou moins grands d'oscillations de courant alternatif et par des intervalles pendant lesquels la ligne n'est parcourue par aucun courant. Ce n'est que dans le cas d'un code à trois signaux, utilisant des courants positifs et négatifs et des intervalles de repos, qu'il n'est plus possible de reproduire les signaux en utilisant les courants alternatifs. Comme les codes à trois signaux ne servent qu'en télégraphie sous-marine, nous les laisserons de côté puisqu'il ne s'agit ici que du remplacement des lignes aériennes par des câbles.

La télégraphie par courants alternatifs présente l'avantage suivant : on peut acheminer simultanément plusieurs télégrammes sur la même ligne. Si l'on emploie un courant alternatif de fréquence déterminée pour chacun des télégrammes (fréquence du courant porteur), les différentes fréquences se confondent dans leur propagation simultanée le long de la ligne. Mais on dispose d'installations spéciales qui permettent de trier les fréquences à l'arrivée et de recevoir chaque télégramme individuellement sur un poste déterminé.

L'expérience qu'on avait acquise en télégraphie par courants alternatifs sur les lignes aériennes n'était pas tilisable de but en blanc lorsqu'il s'agissait des câbles. Tout d'abord, on se trouvait très limité dans le choix des fréquences porteuses. On sait que, sur les câbles téléphoniques, l'audition n'est satisfaisante aux grandes distances que s'ils sont munis de bobines Pupin.

L'inductance et l'espacement des bobines sont calculés de

telle sorte que celles-ci ne laissent passer, en les affaiblissant le moins possible, que les seules fréquences des courants de con-

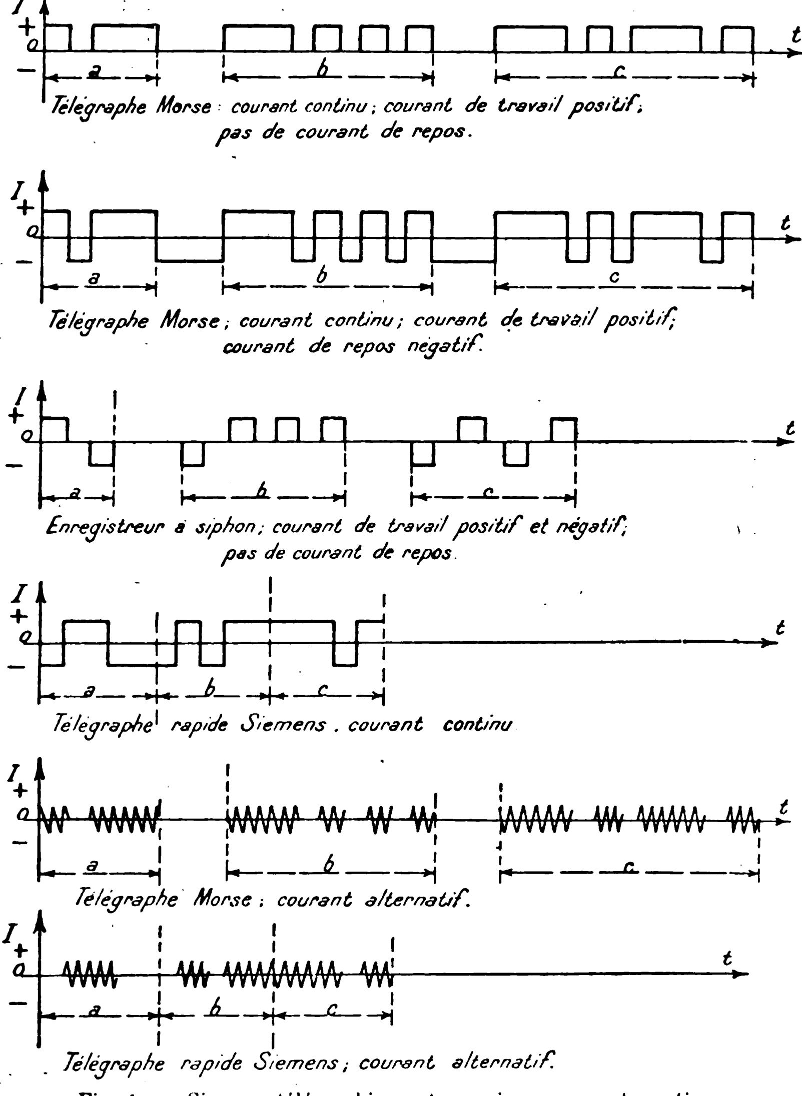


Fig. 1. — Signaux télégraphiques transmis en courant continu et en courant alternatif.

versation ; les courants alternatifs transmis à des fréquences différentes de celles-là sont très affaiblis par les câbles. Il s'ensuit

qu'il faut aussi que les courants télégraphiques aient une fréquence musicale (de 400 à 1.700 périodes par seconde). A titre d'indication, nous rappellerons qu'aux États-Unis on télégraphie à haute fréquence sur les circuits aériens avec des courants dont la fréquence est comprise entre 3.000 et 10.000 périodes par seconde.

On se trouvait encore limité dans le choix des fréquences porteuses pour une autre raison. Pour trier les fréquences à l'arrivée, on a recours à des circuits électriques capables d'osciller, qu'on appelle *filtres* ; ces filtres laissent passer les fréquences correspondant à leur vibration propre et affaiblissent considérablement toutes les autres. La figure 2 représente l'affaiblissement, pour différentes fréquences, obtenu avec un filtre à une cellule et avec un filtre à deux cellules. Pour que les filtres entrent rapidement en oscillation et pour qu'ils produisent un bon filtrage, il faut qu'ils laissent passer non seulement les fréquences porteuses, mais encore les fréquences très voisines de celles-ci. Il faut, comme on dit, qu'ils aient une certaine marge de fonctionnement. Mais celle-ci ne doit pas être trop grande, et d'autre part les fréquences porteuses ne doivent pas être trop rapprochées l'une de l'autre si l'on veut que celles qui sont destinées à un filtre ne traversent pas un autre filtre. En dépit des limites étroites de la gamme de fréquence dont on peut se servir, on est arrivé à choisir six fréquences, grâce auxquelles on peut envoyer simultanément six télégrammes différents sur une ligne en câble.

Mais il ne suffit pas que les fréquences porteuses employées fassent partie de la gamme de fréquences musicales appropriées au câble ; il faut encore que les intensités des courants télégragraphiques soient du même ordre de grandeur que celles des courants téléphoniques, afin que ceux-ci n'aient pas à souffrir d'effets d'induction dus à ceux-là. Il faut arriver à téléphoner et à télégraphier en même temps sur un câble sans que l'un ou l'autre service ait à en souffrir. La chose est possible, parce que les tubes à vide employés comme *amplificateurs* permettent de renforcer les faibles courants télégraphiques suffisamment pour

qu'ils puissent actionner les appareils télégraphiques usuels. C'est encore le tube à vide, fonctionnant en *redresseur*, qui rend possible, en télégraphie par courants porteurs, l'emploi des installations télégraphiques utilisées avec du courant continu : le tube ne transmet que la moitié positive du courant alternatif redressé, et les appareils de réception sont actionnés par un courant continu fractionné ; enfin on utilise encore les tubes à vide comme générateurs de courants alternatifs pour la raison

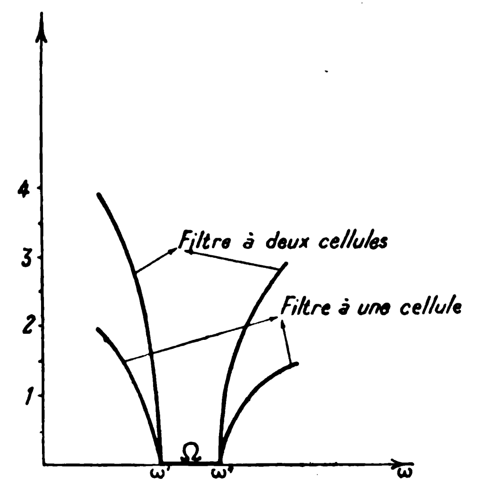


Fig. 2. — Affaiblissement de deux filtres différents.

suivante : les différentes fréquences porteuses sont assez voisines l'une de l'autre; aussi importe-t-il qu'une fois choisie, chaque fréquence ne se modifie pas en service ; pour produire les courants alternatifs utilisés sur les câbles, il faut donc, non des alternateurs, dont la fréquence varie toujours un peu, mais des générateurs purement électriques. Les tubes à vide répondent à cette condition, et rendent des services précieux.

Les figures 3 et 4 représentent schématiquement une installation télégraphique utilisant des courants alternatifs de fréquence musicale (départ et arrivée). Sur la figure 3, on voit six tubes à vide conditionnés et montés de telle façon que chacun d'eux produit un courant alternatif de fréquence bien déterminée ; on fait usage de la réaction ; par suite, les oscillations très faibles

engendrées dans le circuit extérieur des lampes lors de la mise en circuit de la batterie de plaque, agissent par couplage inductif sur le circuit de grille et s'amplifient jusqu'à atteindre une valeur maximum, qu'elles conservent tant que la lampe reste en circuit.

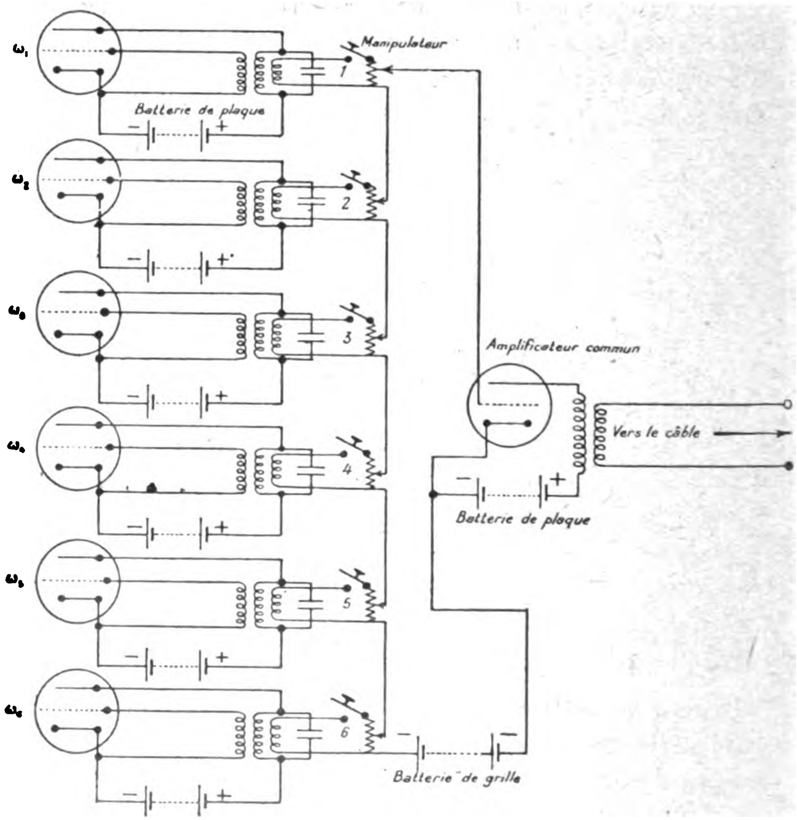


Fig. 3. — Installation sextuple (transmission).

On peut ainsi régler avec précision les différentes fréquences, simplement en enfonçant plus ou moins profondément dans les bobines le noyau de fer commun aux deux bobines de couplage de chaque tube, ce qui fait varier leur inductance. Si l'on voulait transmettre des signaux en courant alternatif par mise en oscillation ou au repos des tubes à vide, la transmission serait trop lente, en raison du temps que mettent les tubes pour entrer en oscillation. C'est pourquoi on laisse les tubes débiter sans arrêt,

et l'on transmet les courants alternatifs engendrés par couplage inductif sur un deuxième circuit que l'on ouvre et ferme au moyen d'une clé manœuvrée à la main.

Les courants alternatifs engendrés par les différents tubes à des fréquences différentes agissent sur la grille d'un amplificateur à lampe commun ; de là ils passent à travers un translateur relié au circuit du câble. Ce montage, préconisé par Clansing, est avantageux en ce sens que les divers transmetteurs ne s'influencent pas réciproquement et que chacun d'eux applique une tension constante au circuit. Il s'ensuit qu'aucun courant ne circule dans le circuit de grille de l'amplificateur et que la tension appliquée à la grille par un transmetteur n'engendre aucune variation des tensions appliquées en même temps par les autres transmetteurs.

Les six courants alternatifs de travail circulent ensemble sur le câble et traversent un translateur pour arriver aux dispositifs de réception (fig. 4), où ils sont reçus par un même amplificateur à lampe. En suivant le câble, les courants alternatifs se sont affaiblis, les fréquences élevées étant plus affaiblies que les fréquences plus basses. L'amplificateur commun est construit de manière qu'*il amplifie davantage les hautes que les basses fréquences*, et un second translateur retransmet aux filtres, *sous la même tension*, les divers courants alternatifs si, au départ, les transmetteurs ont tous fonctionné sous une même tension.

Chaque courant alternatif qu'un filtre a laissé passer agit alors sur la grille d'une lampe *à vide très poussé*. La tension de cette grille est *négative* et réglée de telle façon qu'il ne circule aucun courant dans le circuit de plaque de la lampe. Par suite, la demi-onde négative du courant alternatif d'arrivée est étouffée, et la demi-onde positive, qui se présente sous la forme d'un courant continu fractionné, excite le relais de l'appareil récepteur.

Tous les organes placés à la suite de ce relais restent inchangés, qu'il s'agisse d'appareils Morse, d'appareils rapides Siemens, de télégraphes pendulaires et autres. Ceux de ces appareils qui comportent un relais polarisé conviennent également, car, lorsque le courant continu ne circule plus, *l'inversion du relais se produit sous l'impulsion du courant de décharge du condensateur monté en parallèle avec le relais (fig. 4)*.

Ce système de télégraphie sur câbles par courants alternatifs est caractérisé par le fait que tous les organes intercalés entre le transmetteur et le récepteur ont un fonctionnement exclusivement électrique. Les télégraphistes n'ont pas à se

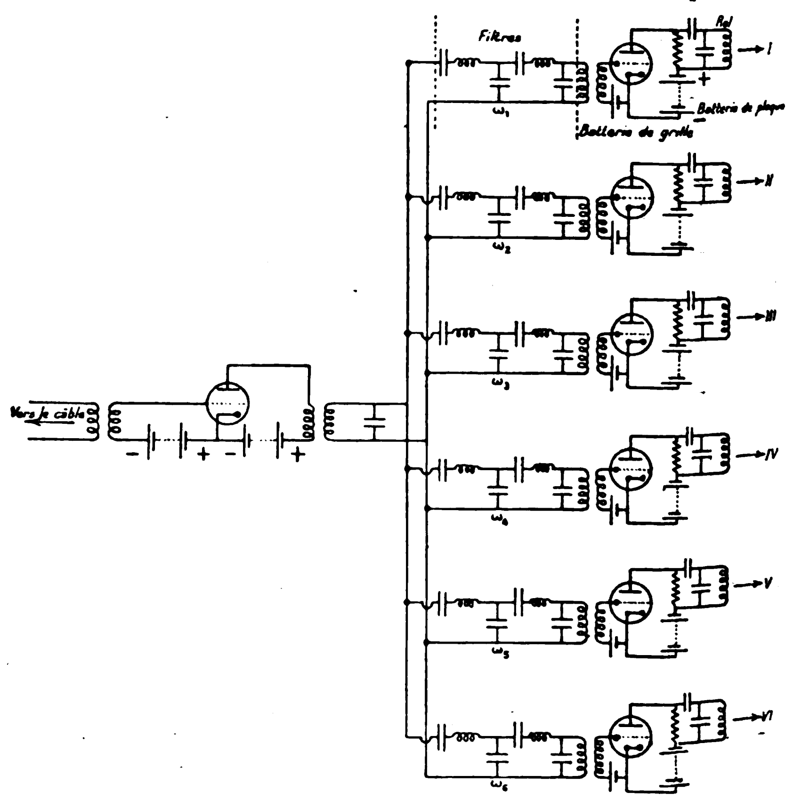


Fig. 4. — Installation sextuple (réception).

soucier si les télégrammes sont transmis en courant continu ou en courant alternatif ; ils desservent leurs installations de la manière habituelle.

Le système se prête en outre à toutes les combinaisons d'écoulement du trafic : on peut transmettre simultanément six télégrammes dans la même direction ou, tout aussi bien, en transmettre simultanément trois dans un sens et trois dans l'autre sens. On peut aussi séparer les messages en cours de route et les réexpédier sur d'autres lignes. On choisira les appareils télé-

graphiques qui conviennent le mieux suivant la nature du trafic à écouler. La télégraphie par courants alternatifs est d'un si bon rendement, qu'il n'est pas nécessaire de lui réserver beaucoup de conducteurs dans les câbles, même dans les régions où le trafic télégraphique est particulièrement intense. Ce système paraît donc inaugurer une ère nouvelle en télégraphie multiple sur câbles terrestres.

Quelques applications du cadmium dans l'industrie électrique (N. F. Budgen : *The Electrician*, 6 mars 1925). — Le cadmium est un métal qui ressemble beaucoup à l'étain ; toutefois sa couleur se rapproche plutôt de celle de l'acier ; il fond à 320° C ; il entre en ébullition à 768° C ; il est volatil. Il est étroitement apparenté au zinc. L'industrie électrique a su tirer parti de ce métal ; nous allons passer rapidement en revue quelques-unes des applications les plus intéressantes et les plus importantes.

Accumulateurs. — En 1900, Edison avait inventé une pile à grand débit sous une force électromotrice faible mais constante. Dans cette pile, qui était réversible et n'avait aucun des défauts inhérents aux piles à combinaison zinc—oxyde de cuivre, le cadmium était l'élément actif de l'électrode négative. Elle perd it de sa vogue à partir du jour où Édison introduisit sur le marché les piles à combinaison fer—oxyde de nickel.

Aujourd'hui, on utilise des accumulateurs à électrolyte alcalin, dont l'une des électrodes est en cadmium et l'autre en nickel ; l'électrolyte est une solution de soude ou de potasse caustiques. Le cadmium s'obtient sous forme de précipité spongieux en partant d'une solution de chlorure de cadmium à laquelle on mélange de la poudre de zinc. Le cadmium est ensuite mélangé à du zinc en poudre et à une petite quantité d'oxyde de mercure, puis déposé sur des supports propres à constituer des plaques d'accumulateurs. Pendant la première charge, l'oxyde de mercure est réduit à l'état métallique et le mercure recouvre les particules de cadmium et de zinc. Pendant la décharge, le zinc se dissout, le cadmium s'oxyde, mais le mercure ne change pas. Ainsi le zinc ne subsiste que momentanément dans la masse, qu'il rend poreuse.

Les accumulateurs à électrolyte alcalin présentent de sérieux avantages par rapport aux accumulateurs au plomb : ils peuvent être déchargés complètement ; on peut, sans les utiliser, les garder chargés pendant longtemps sans qu'il en résulte un inconvénient quelconque. Mais, à l'heure présente, ils sont environ trois fois plus coûteux que les accumulateurs au plomb fournissant le même nombre d'ampères-heure, car le prix du cadmium est élevé.

Lampes. — La lampe de mineur Pearson Nife, la lampe Worsnop et la lampe Wolf sont alimentées par des batteries Edison comprenant : une plaque de nickel (électrode positive) ; une boîte métallique dont les parois sont perforées et qui renferme du fer et du cadmium finement pulvérisés (électrode négative) ; un électrolyte alcalin. Les plaques de la batterie Pearson Nife renferment 51,6 °/₀ de cadmium (poids total : 63ᵍ,2 ; celles de la batterie Worsnop en renferment 47,7 °/₀, soit au total 70 grammes ; la batterie Wolf, plus petite et comportant deux plaques négatives au lieu de quatre, renferme 74,5 °/₀ de cadmium, soit un poids total de 42 grammes.

Depuis peu, le cadmium métallique entre dans la fabrication des filaments de tungstène des lampes électriques. On chauffe et broie dans un mortier un mélange formé d'un alliage spécial (42 °/₀ de cadmium, 53 °/₀ de mercure, 5 °/₀ de bismuth) et de tungstène en poudre (30 °/₀ environ de l'alliage spécial). Le produit est tréfilé, puis chauffé ; l'alliage ayant disparu, il reste le tungstène, qu'on chauffe à nouveau dans le vide pour le solidifier.

Usages divers. — Les alliages mercure—cadmium sont employés fréquemment dans les piles-étalons dont la force électromotrice est constante et indépendante des conditions locales ; elles servent surtout à des essais et étalonnages.

On se sert aussi du cadmium pour se rendre compte de l'état comparé des éléments positifs et négatifs à un moment quelconque de la charge ou de la décharge d'une batterie, car le cadmium est un corps par rapport auquel les substances actives, positives et négatives, sont électronégatives dans l'acide sulfurique. On constate une différence de potentiel lorsqu'on plonge une lame de cadmium dans l'électrolyte, après avoir relié la lame à l'une des

bornes d'un voltmètre approprié, dont l'autre borne est reliée soit à une plaque positive, soit à une plaque négative. Un voltmètre ordinaire indiquerait seulement la différence de potentiel aux bornes de la batterie ; grâce au cadmium, on peut voir sur le voltmètre quelle part revient aux éléments positifs et négatifs dans la production de cette différence de potentiel, ou plus exactement, dans quelle proportion chaque élément est cause de la variation de la différence de potentiel.

L'électrode en cadmium permet aussi de s'assurer si, dans une batterie défectueuse, c'est l'élément positif ou l'élément négatif qui est en cause. L'essai s'effectue généralement lorsque la batterie est presque complètement épuisée et pendant que le courant de décharge circule encore.

Il ne faut pas trop se fier aux indications de l'électrode en cadmium en ce qui concerne la charge *maximum*, car les résultats sont à interpréter différemment suivant la température, l'ancienneté et l'état des plaques, et les diverses conditions locales. Malgré que la valeur des indications de l'électrode en cadmium soit reconnue depuis plusieurs années, son usage n'est pas encore très répandu. Lorsqu'on aura mieux compris les avantages qu'elle présente, son emploi tendra certainement à se généraliser.

Résistances pour fours électriques. — On fabrique ces résistances en mélangeant de l'oxyde de cadmium finement pulvérisé à de l'eau et parfois à du silicate de zirconium en poudre ; la pâte ainsi obtenue est portée à la température de 800° C. L'oxyde forme une masse compacte, dont la résistance à la traction est considérable, même à la température de 1.000° C. Sa faible résistivité spécifique à des températures aussi élevées le distingue de la plupart des autres oxydes métalliques et le rend particulièrement propre à la fabrication des résistances pour fours électriques. Tout d'abord, il doit être chauffé extérieurement (par exemple, par passage d'un courant électrique) ; mais une fois qu'il est chaud, le courant de chauffage du four passe et l'on obtient l'effet calorique voulu. L'oxyde de cadmium est stable ; il est plus durable que les résistances ordinaires, car, mieux qu'elles, il peut supporter des températures très élevées. On peut s'en servir

pour fabriquer les tuyautages des fours et certaines pièces réfractaires ; dans ce but, on le mélange parfois à des substances réfractaires bonnes ou mauvaises conductrices.

Lampe à vapeur de cadmium. — M. Bates a imaginé une lampe à arc à vapeur de cadmium qui donne une lumière monochromatique d'un rouge vif, caractéristique de la raie $\lambda =$ 6439 angströms qui, pratiquement, est celle du cadmium pur. La lampe a la forme d'un U renversé (tube d'une capacité de 10 centimètres cubes) ; à chaque bout du tube en U, elle est munie d'un tube capillaire en quartz dans lequel passe le fil de tungstène qui constitue l'électrode ; les deux électrodes sont scellées (au plomb) aux tubes capillaires. Par distillation dans une cornue en quartz, à la pression de 0^{mm}, 001 de mercure, on remplit la lampe de vapeur d'un alliage de gallium et de cadmium (0,2 à 0,3 °/₀ de gallium) ; pendant la distillation, le cadmium entraîne une faible quantité de gallium, qui le rend mou et l'empêche de se dilater. La lampe fonctionne avec trois ampères sous 110 volts, avec, aux bornes de la lampe, une différence de potentiel de 14 volts ; son fonctionnement est meilleur avec un courant de 7 ampères et pour une différence de potentiel de 25 volts. Pour obtenir l'allumage de la lampe, il faut chauffer au bec Bunsen une des branches du tube en U. La lampe dure longtemps et n'exige pas une surveillance attentive ; il ne se produit pas de dépôt opaque sur les parois du tube.

Conducteurs en alliage cuivre—cadmium. — Une des plus importantes applications futures du cadmium consistera à le faire entrer dans la composition des fils télégraphiques et téléphoniques et des conducteurs d'énergie électrique. Les fils de cuivre renfermant une faible proportion de cadmium présentent tous les avantages des fils de laiton et de bronze ; de plus, ils ont une conductibilité électrique comparable à celle des fils de cuivre étiré à froid. Les conducteurs en cuivre—cadmium ont été déjà employés avec succès par plusieurs compagnies de tramways électriques.

Le réseau télégraphique et téléphonique souterrain de la Grande-Bretagne (W. E. Wells : *Telegraph and tele-*

phone journal, mars 1925). — Au cours des années qui suivirent le rachat des réseaux de communication par l'office britannique, on mit à l'essai de nombreux types de câbles, mais on ne put réaliser

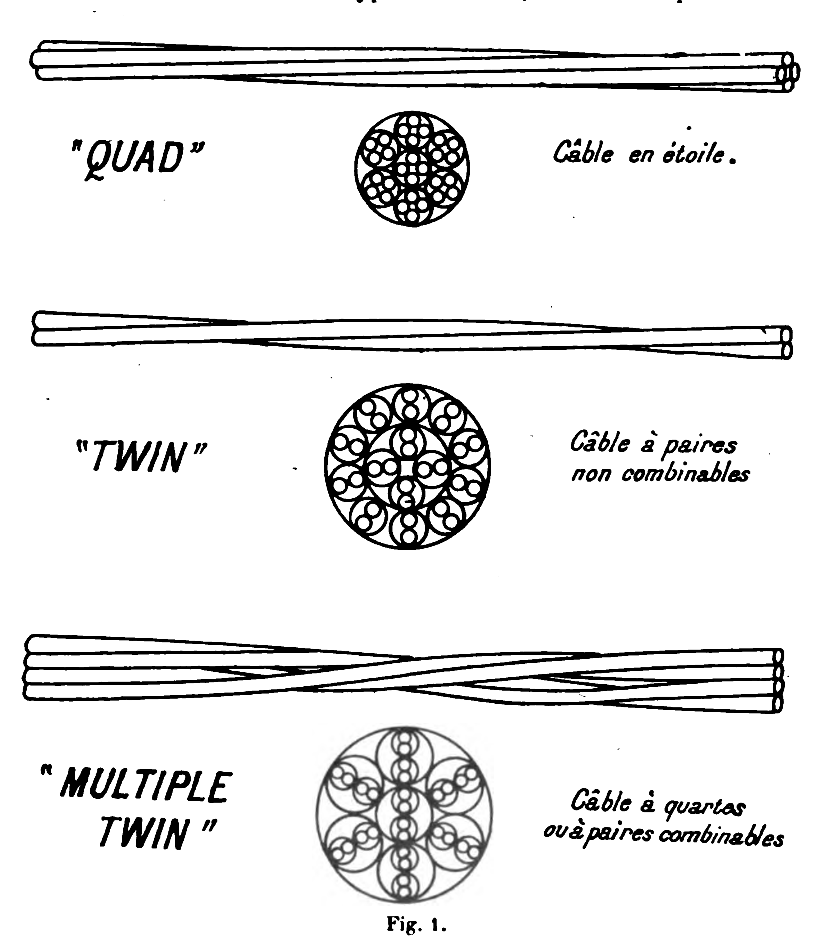


Fig. 1.

de progrès vraiment appréciable avant d'avoir introduit les câbles sous papier à circulation d'air.

Avant de procéder à la description des progrès réalisés depuis qu'on a introduit ces câbles, il serait utile de dire quelques mots sur les méthodes d'isolement et de câblage des conducteurs.

Le conducteur en cuivre des types de câble considérés ici est entouré d'une étroite bande de papier, enroulée d'une façon lâche

en hélice ou longitudinalement autour du conducteur nu. Généralement, un ruban de coton est enroulé en hélice autour du papier.

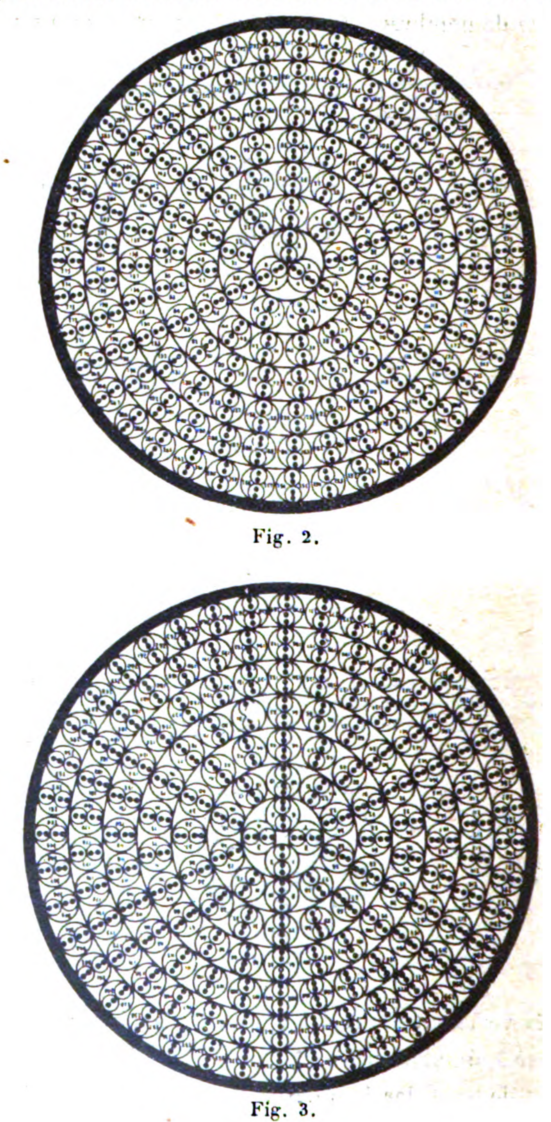


Fig. 2.

Fig. 3.

Le coton maintient le conducteur au centre du tube de papier et, par compression aux points de contact, renfle le papier entre les spires, de telle façon que l'espace autour du fil est partout le

même ; de plus, on évite ainsi les déformations du conducteur pendant les opérations de construction subséquentes.

Le câble en étoile (quad) est semblable aux anciens câbles en gutta-percha. On modifie la longueur d'un tour complet (ou pas de câblage) dans les groupes de quatre conducteurs en étoile adjacents en vue de réduire la longueur du parallélisme et de diminuer le cross-talk.

La figure 2 représente la construction du câble du type de 1913. Actuellement, il est d'usage d'employer trois couleurs, la quarte orangée se trouvant au commencement de chaque couche. Le toron central est formé de trois quartes.

La figure 3 représente le nombre de paires obtenues lorsque le toron central est formé de quatre quartes. Ce système est intéressant parce que le câble toronné du plus fort calibre (poids du fil de cuivre : 40 livres par mile) est construit de cette façon. Ce câble, contenant 160 paires, a été très souvent employé pendant ces dernières années, et l'on en a posé plus de 487 miles, faisant l'objet de trente marchés différents. Le câble Londres-Bristol, qui renferme 308 paires de conducteurs pesant 20 livres par mile, est de ce type.

La figure 4 montre comment est construit le nouveau câble à quartes (254 paires de fil pesant 40 livres par mile). On a adopté des couleurs différentes pour les couches successives, afin d'éviter l'introduction d'une quarte toronnée de droite à gauche dans une couche enroulée de gauche à droite et *vice versa*.

Un câble à paires non combinables (twin type) est constitué par des groupes de deux conducteurs isolés, torsadés ensemble pour former une paire.

Le câble à paires combinables (multiple twin type) a été inventé afin d'obtenir un circuit fantôme formé de deux circuits réels. Deux paires torsadées sont câblées ensemble et forment une quarte.

Il existe encore un type de câble qui n'est pas représenté ici, le « quadruple pair type », qui procure aussi un circuit fantôme. Dans ce type de câble, quatre paires à deux conducteurs sont torsadées ensemble pour former une quarte. La plupart des lignes télégraphiques principales sont construites de cette façon, mais aujourd'hui l'office britannique n'utilise plus ce type de câble.

Un câble est construit en disposant en couches les quartes ou les paires; les couches successives sont toronnées de droite à gauche ou de gauche à droite. L'âme du câble, une fois achevée, est entourée de papier et passée dans une presse qui la recouvre d'une couche de plomb uniforme, d'une épaisseur préalablement fixée.

Les schémas des câbles vus en coupe montrent que le nombre de paires étant le même, les câbles à paires et les câbles à quartes

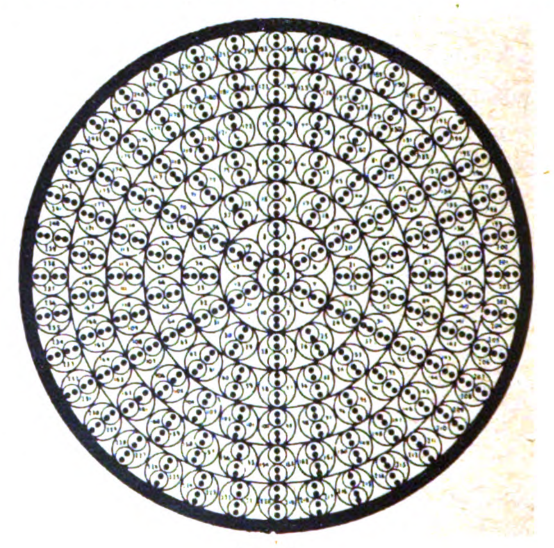


Fig. 4.

ont le même diamètre, et que le câble en étoile a une section de 33 °/₀ moins grande que les autres. Des câbles à conducteurs sous papier étaient employés en 1896 par la National telephone company pour le réseau urbain, et à la même époque, sur de faibles distances, par l'office britannique. En 1897, un câble téléphonique contenant 37 paires de conducteurs pesant 100 livres par mile fut posé entre Manchester et Bolton.

Le développement rapide du service interurbain et, par conséquent, l'augmentation considérable du nombre des circuits, eurent pour conséquence un encombrement général des circuits aériens, et il devint nécessaire de remplacer les lignes aériennes interurbaines par des câbles téléphoniques à grande distance.

Les circuits Londres-Birmingham étaient probablement les

plus congestionnés du royaume ; de plus, ils étaient posés presque à angle droit par rapport à la direction suivie par les tempêtes les plus violentes (direction du canal de Bristol — comtés de Lincoln et de Norfolk) ; c'est pourquoi la nappe des circuits en question fut choisie pour être remplacée par le premier câble téléphonique. Ce câble renferme 38 paires de conducteurs en cuivre, pesant 150 livres par mile, isolés au papier et recouverts d'une enveloppe de plomb. Le groupement en étoile fut adopté pour la plus grande partie du parcours, mais on reconnut cette disposition défectueuse à cause du manque d'homogénéité entre les paires et, par conséquent, l'importance de l'induction mutuelle entre les circuits. Sur la plus grande partie du parcours, on a donc employé la construction par paires isolées non combinables. Le câble donna entière satisfaction à tous les égards ; le service qu'il a rendu était excellent et n'eut à souffrir que d'un nombre insignifiant de dérangements. Les frais d'entretien sont pratiquement négligeables. Si l'on pense qu'en 1898 on ne disposait d'aucune méthode pour vérifier le travail des soudeurs, ni pour s'assurer de l'uniformité de l'enveloppe de plomb après mise en place, et que le matériel de dessiccation n'existait pas encore, on peut admettre que les résultats obtenus sont un exemple à méditer par ceux qui sont chargés de la construction et de l'entretien des câbles.

Pendant les années suivantes, on continua de poser sous terre des lignes télégraphiques principales ; voici l'ordre dans lequel ces travaux ont été exécutés :

1903 Birmington à Warrington, Manchester et Liverpool ;
1904 Warrington—Carlisle ;
1905 Londres—Slough (première section de Londres—Bristol) ;
1906 Carlisle—Glasgow ;
Manchester—Bradford—Leeds ;
Slough—Chippenham ;
Londres—Chatham ;
1907 Londres—Bristol—Taunton—Exeter ;
Newcastle—Durham ;
1908 Glasgow—Edimbourg ;
Durham—Middlesbro' ;

Exeter—Plymouth—Penzance ;
Birmingham—Worcester—Bristol—Shrapness ;
1909 deuxième câble Londres—Birmingham ;
1910 Bristol—Birmingham achevé ;
Leeds—Middlesbro' ;
Penzance—Porthcurno ;
1911 Chatham—Canterbury ;
1912 Sharpness—Cardiff ;
1913 Leeds—Hull ; Canterbury—Dover, St.Margarets Bay et Abbotscliff ;
Londres—Chelmsford.

En 1912, on révisa les méthodes de pose et l'on reconnut que le remplacement des lignes aériennes par des lignes souterraines était beaucoup moins justifié qu'à l'époque où cette manière de faire avait été adoptée.

On est sans doute arrivé à cette conclusion à la suite de l'introduction de la charge des circuits (pupinisation) et de perfectionnements considérables réalisés dans la fabrication des câbles. Pendant de nombreuses années avant 1912, tous les câbles téléphoniques urbains étaient construits sous enveloppe de plomb à circulation d'air, et l'invention du câble à paires combinables a rendu possible la construction de câbles interurbains à longue distance.

La figure 5 représente, en coupe, un câble télégraphique typique composé de : quatre groupes de quatre paires, combinables deux à deux, avec quatre paires en fil pesant 20 livres par mile, logées dans les espaces libres autour des premières ; cinq paires en fil pesant 100 livres par mile, logées l'une au centre et les quatre autres entre les groupes ; et huit conducteurs simples, recouverts chacun d'un ruban métallique enroulé autour de l'isolant en papier.

En 1912, on décida de poser, entre Leeds et Hull, un câble mixte (câble télégraphique et téléphonique) comprenant 48 paires de conducteurs en fil de cuivre pesant 70 livres par mile, et six paires de conducteurs pesant 100 livres par mile, en remplacement du câble exclusivement télégraphique dont on avait tout d'abord projeté la construction. Cette opération fut rendue

possible grâce à l'introduction de l'équilibrage pendant les opérations de pose du câble. On vérifie l'équilibrage en mesurant les constantes électriques de chaque fil pour chacune des longueurs de fabrication comprises entre deux chambres de bobines de charge successives en choisissant les fils à raccorder aux points de jonction de manière à se rapprocher autant que possible

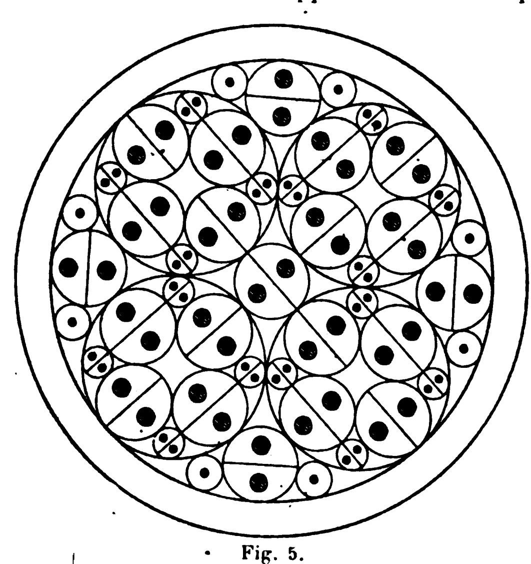


Fig. 5.

d'une parfaite homogénéité tout le long du câble, et par conséquent de manière à supprimer le cross-talk entre les différentes paires de fil et les circuits fantômes. Les travaux ont été exécutés par la section des recherches, sous la direction de M. Pollock, et le câble terminé a été, et est encore, libre de toute interférence entre les paires télégraphiques et téléphoniques et entre les paires téléphoniques. Toutes les paires sont en service depuis longtemps, et un nouveau câble renfermant 122 paires est en bonne voie d'achèvement. Le succès de cette entreprise a permis à l'office britannique de procéder (sans appréhensions concernant les résultats) à une extension rapide des câbles interurbains, et en 1913 le parlement a autorisé la pose d'un câble principal entre Londres—Birmingham—Liverpool. Le câble était du type mixte ; il contenait deux paires de fil pesant 300 livres, 14 paires pesant

200 livres, 12 paires pesant 150 livres, et 24 paires pesant 100 livres par mile, plus les bobines de charge pour circuits fantômes. Ce câble, long de 210 miles, était le premier câble interurbain à longue distance posé en Angleterre, et il fut mis en place et équilibré par les soins des constructeurs mêmes. Le câble fut achevé et mis en service en 1916 seulement, et il a rendu de très grands services en permettant l'établissement des communications téléphoniques entre les centres importants lors de la grande tempête de mars 1916 qui endommagea tous les circuits aériens dans les midlands. Il peut être intéressant de rappeler qu'en 1916 on a dépensé plus de 300.000 livres sterling pour réparer les dommages causés aux lignes aériennes par ladite tempête et que 1.660.000 livres ont été consacrées à des réparations du même genre pendant les dix années suivantes.

Les systèmes tandem. — En 1910, on reconnut que le développement du trafic interurbain justifiait une augmentation du nombre des circuits et l'introduction d'un service sans attente (no delay service) entre les villes les plus importantes. On organisa des systèmes tandem à Glasgow, Liverpool, Manchester, Birmingham, Leeds et Newcastle-on-Tyne. On entreprit des études minutieuses du trafic dans chacune des régions intéressées, et un projet fut préparé qui indiquait le développement du trafic à prévoir comme conséquence de l'amélioration du service. Les résultats de ces études furent mis à profit par les ingénieurs pour préparer les projets, et l'on constata immédiatement que les nappes des lignes aériennes seraient notoirement insuffisantes, vu le grand nombre des circuits à prévoir et que l'on serait obligé de poser un réseau de câble très important dans chaque centre.

La figure 6 représente le système tandem de Manchester, qui fut adopté finalement, et il peut être intéressant d'indiquer les différents problèmes qu'il a fallu résoudre avant de prendre une décision définitive. Le projet paraît simple, mais il a fallu rechercher les moyens les plus économiques et les plus efficaces pour installer 78 groupes de circuits directs, dont chacun comprenait des lignes d'arrivée et de départ exigeant des qualités de transmission très différentes.

Après avoir effectué des déductions correspondant aux équivalents de transmission nécessaires pour :

a) le service urbain à chacune des extrémités de l'ensemble des

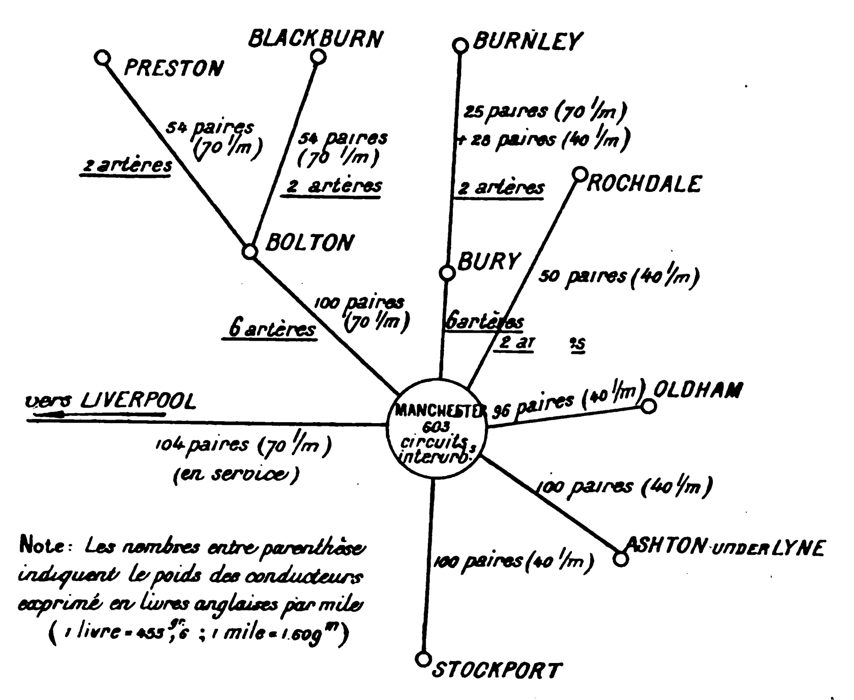


Fig. 6. — Système tandem de Manchester (1914).

circuits utilisés pour l'établissement d'une communication à longue distance,

b) les lignes auxiliaires locales,

c) les lignes suburbaines,

d) les pertes de transmission dans les bureaux,

on acquit la preuve qu'on ne pourrait tolérer plus de trois miles de câble standard pour chaque circuit de départ de câbles tandem et six miles pour chaque circuit d'arrivée.

Deux projets du réseau des circuits furent retenus et, pour chacun d'eux, on procéda à l'évaluation des dépenses :

a) au début,

b) après 8 ans de service,

c) après 15 ans de service.

Le premier des deux projets prévoyait des câbles directs entre chacune des villes ; le deuxième, des câbles rayonnant autour de Manchester. Le deuxième projet fut reconnu le plus avantageux : il nécessitait moins de travaux de canalisation et rendait possible l'emploi de câbles d'un gros diamètre (qui sont plus économiques lorsqu'on calcule le prix de revient par paire), en diminuant ainsi le volume de la canalisation. Les circuits reliant entre elles les villes de la périphérie (par exemple Oldham à Rochdale et à Bolton) ont été posés via Manchester. On a dû procéder à une étude minutieuse du type de câble qu'il fallait employer dans chaque cas (à diamètre uniforme ou non uniforme), et l'on est arrivé à la conclusion qu'il serait plus avantageux de poser au début un câble uniforme, quitte à prévoir des câbles d'un diamètre moins important pour une date ultérieure, quand la création de liaisons directes libérerait, dans les câbles rayonnant autour de Manchester, des circuits transversaux de faible longueur, et de prévoir des paires disponibles pour les circuits supplémentaires dont on aurait alors besoin. Considérant le système adopté après que dix ans se sont écoulés, on voit qu'il était judicieusement choisi, puisque chaque paire des câbles représentés sur le diagramme a été utilisée pour des circuits exigeant une transmission parfaite, qui ne pouvait être obtenue qu'en employant des conducteurs d'un plus gros diamètre. Les câbles posés au début procuraient le nombre de circuits prévus pour une période de 8 ans, et les conduites souterraines furent posées en se basant sur une extension prévue pour 15 ans. Des conduites à six cellules furent posées entre Manchester d'une part, Liverpool et Bolton d'autre part, des conduites à quatre cellules entre Manchester et Stockport, et des conduites à trois cellules entre Manchester et Oldham.

Tous les systèmes tandem ont été achevés pendant la guerre, et le développement considérable du service interurbain qui en est résulté s'est traduit par un encombrement des circuits sur certaines des artères. Un programme très étendu de câbles supplémentaires a été mis à exécution aussitôt après l'armistice.

La figure 7 montre le réseau souterrain existant actuellement dans la région de Manchester.

On voit qu'on a créé beaucoup de liaisons directes, par exemple entre Preston, Blackburn, Burnlay, Todmorden, Rochdale, et plus près de Manchester entre Wigan, Bolton, Bury, Heywood, Rochdale. En outre, on a posé de nouveaux câbles pour soulager ceux qui existaient déjà.

Bien qu'on ait posé des câbles contenant beaucoup plus de

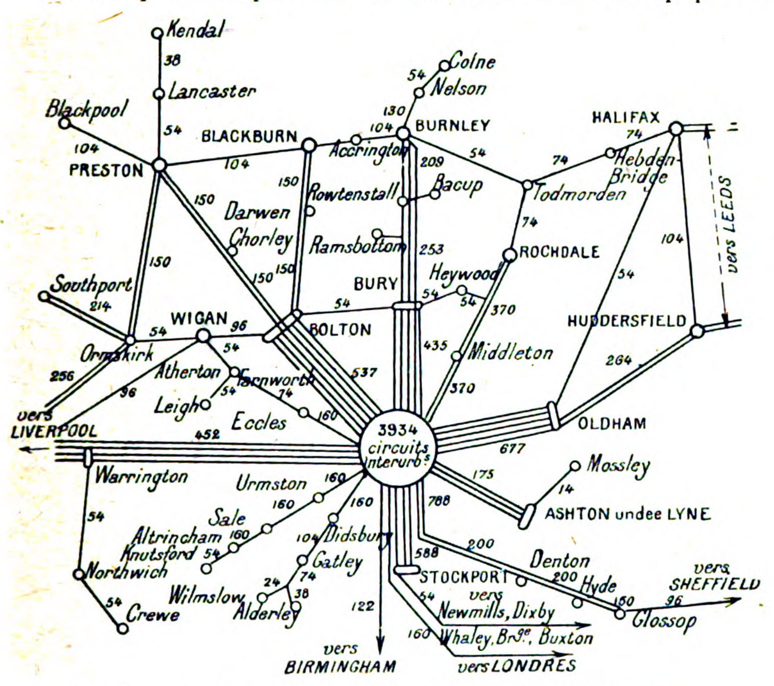


Fig. 7. — Réseau souterrain de la région de Manchester (1925).

paires qu'il n'avait été prévu dans le projet tandem, les lignes sont déjà très surchargées, et une artère contenant six conduites a été posée récemment entre Manchester et Stockport. Cette année, il sera nécessaire de poser des conduites supplémentaires vers Oldham et Rochdale.

Une des caractéristiques les plus remarquables du développement du réseau souterrain est la nécessité de poser des câbles supplémentaires sur les artères déjà en service. Dans beaucoup de cas, les câbles du plus fort calibre seront dans trois ou quatre ans insuffisants pour satisfaire aux besoins du trafic, et il

est certain que, pendant des années, outre les dépenses nécessaires pour poser les câbles dans les villes desservies à présent par des lignes aériennes, il faudra engager des dépenses considérables pour poser des câbles qui compléteront le réseau souterrain existant.

J'ai choisi comme exemple la région du Lancashire en pensant qu'il serait intéressant de suivre le développement du système dans le district industriel le plus important du pays, et aussi parce que les problèmes qui s'y présentent sont très différents de ceux qui se posent pour la région de Londres.

Dans le temps même que le projet du système tandem provincial était mis à l'étude, des propositions furent faites relativement à un développement semblable dans la région de Londres comprise dans un rayon de 25 miles autour de cette ville. Sous certains rapports, le problème était plus facile à résoudre, puisque les villes de cette région ont relativement peu d'intérêts communs, la plus grande partie du trafic étant écoulée entre les différentes villes et Londres. Ces projets furent incorporés dans le programme général du réseau souterrain, mais leur exécution fut différée à cause de la guerre. Il en résulte que le service suburbain d'après la guerre laisse beaucoup à désirer. Le projet a été repris en 1919; les extensions prévues furent révisées et le schéma des câbles souterrains considérablement agrandi. Des conduites et des câbles entraînant une dépense de plus de 750.000 livres sterling furent posés et, en septembre 1921, le réseau interurbain de Londres fut mis en exploitation.

Il nous est impossible de nous étendre davantage sur les développements du service suburbain de la région londonienne qui, aujourd'hui, s'étend depuis la côte du sud jusqu'à Bedford et Cambridge au nord et jusqu'au voisinage d'Oxford à l'ouest.

L'augmentation considérable du nombre des circuits et la congestion des artères en câbles de Londres obligèrent à poser des câbles contenant un plus grand nombre de conducteurs, et l'on se propose cette année de revenir, sur plusieurs artères, au vieux type de câble. Ce type de câble, généralement connu sous le nom de câble en étoile (ou à quarte en hélice), exige moins d'espace

pour chaque paire que tout autre type et permet d'augmenter de 50 °/₀ le nombre des paires d'un câble d'un calibre donné. La construction de ce type de câble a été abandonnée depuis plusieurs années, car à cette époque on ne pouvait fabriquer de câbles de manière à obtenir des résultats uniformes et supprimer le cross-talk. Récemment, des perfectionnements considérables ont été apportés aux méthodes de construction des câbles à paires combinables ; des sommes importantes ont été dépensées par les grands constructeurs pour effectuer des recherches techniques et construire des câbles d'essai, et aujourd'hui il est possible d'introduire des modifications dans la réalisation des câbles en étoile et de construire de tels câbles d'une longueur de 50 miles, les circuits combinants étant pupinisés.

Quoique certains constructeurs de câbles ne soient pas tenus de se conformer strictement à la méthode précise préconisée pour obtenir les résultats prévus dans les clauses des marchés, il est néanmoins probable que les câbles qui seront prochainement construits comprendront un certain nombre d'âmes en étoile, construites d'une manière semblable à celle que présente la figure 1 ; mais chaque conducteur sera entouré d'une ficelle de papier posée sous l'enveloppe isolante. De cette manière, on obtiendra une plus grande uniformité et une meilleure résistance à la compression ou à l'écrasement pendant les opérations ultérieures du toronage et du câblage des conducteurs.

L'introduction de ce câble d'un plus grand calibre obligera à insérer un plus grand nombre de bobines de charge en chaque point de pupinisation de l'artère ; à Londres, il serait presque impossible de construire des chambres de pupinisation assez vastes. Jusqu'à présent, la plus grande boîte de bobines de charge employée par l'office britannique contenait 60 bobines de charge, pesait une demi-tonne, et, sans compter le câble de sortie, était haute de 3 pieds 4 pouces (1 mètre environ). Cinq boîtes pareilles seraient nécessaires dans chaque chambre de charge pour chaque câble, ce qui imposerait la construction de chambres de charge longues de 13 pieds 6 pouces ($4^{m},15$). Cinq câbles principaux ont été posés depuis la guerre le long d'Oxford street et de Holborn, et des

chambres de charge spéciales ont été bâties pour chaque câble aux points judicieusement choisis. On a presque atteint la limite admissible sur cette artère, et aussi sur plusieurs autres rayonnant autour du central interurbain de la cité.

Une bobine de charge, d'un modèle plus petit que celui des bobines actuellement en service et adaptée aux câbles contenant seulement des circuits combinants pupinisés, a été inventée récemment, ce qui permettra de loger toutes les bobines de charge d'un câble dans une seule boîte. Les chambres de charge sur les artères encombrées seront donc de la dimension maximum, mais il sera possible de charger cinq circuits interurbains au même point, au lieu d'aménager une chambre de charge spéciale pour chaque câble. Le nouveau modèle de bobine simplifiera considérablement l'installation des câbles dans les chambres de charge et permettra d'adopter un type de construction plus robuste.

Pour le câble Londres—Bristol, il n'est pas prévu moins de huit boîtes de bobines de charge distinctes, et le câble principal est subdivisé, à chaque point de charge, en huit câbles plus petits, dont chacun a dû être posé tout le long de la chambre de charge pour aboutir à la boîte de bobines appropriée. Quand le câble sera achevé, il y aura dix-huit épissures de câble dans chaque chambre de charge. Des méthodes semblables ont été suivies pour d'autres câbles principaux, mais le nombre des câbles supplémentaires était moins grand. Les bobines de charge sont posées à des intervalles de 7 miles 1/8 tout le long de l'artère, et une chambre de charge complète, avec toutes ses bobines, coûte environ 3.000 livres sterling.

Une autre méthode a été appliquée au câble Londres—Derby, dont la construction se poursuit actuellement. Un tronçon de câble unique part de chaque boîte de bobines est raccordé directement au câble principal au moyen d'un joint en forme de ballon. On n'utilisera pas de câbles supplémentaires.

Câbles à grande distance. — Le premier câble à longue distance mis en service en Angleterre est le câble Londres—Birmingham—Liverpool, achevé en 1916. Quoi qu'il soit, du calibre minimum, il ne contient que 52 paires, à cause des conduites de gros diamètre.

L'introduction de relais amplificateurs à lampes a permis de réduire le poids des conducteurs de 200 livres par mile à 40 et 20 livres par mile pour les longs circuits à quatre fils. On a autorisé la mise en service de câble à conducteurs de fort diamètre entre

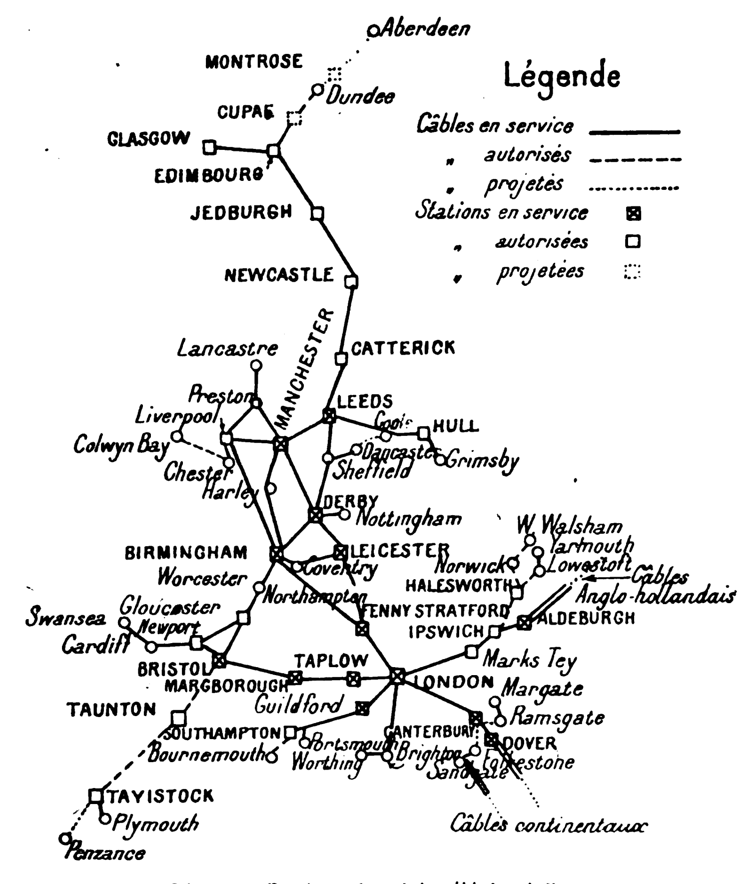


Fig. 8. — Stations de relais téléphoniques.

Manchester et Londres immédiatement après la guerre, comme partie du programme de reconstruction et, en outre, d'un câble télégraphique de gros diamètre entre Londres et Nottingham suivant pendant 110 miles le même itinéraire que le câble téléphonique.

L'expérience acquise pendant la guerre et les recherches faites en Amérique et en Angleterre ont montré qu'on peut réaliser de grandes économies en utilisant des amplificateurs, et en conséquence

on modifia le projet primitif pour procurer 160 paires (au lieu de 48) de conducteurs pesant 40 livres par mile, dont 56 paires, appartenant à la couche extérieure, ont été appropriées au service télégraphique. L'introduction des lignes télégraphiques dans un câble très sensible muni de relais amplificateurs n'a pas été autorisée sans une étude approfondie de la question. On a établi des devis relatifs à

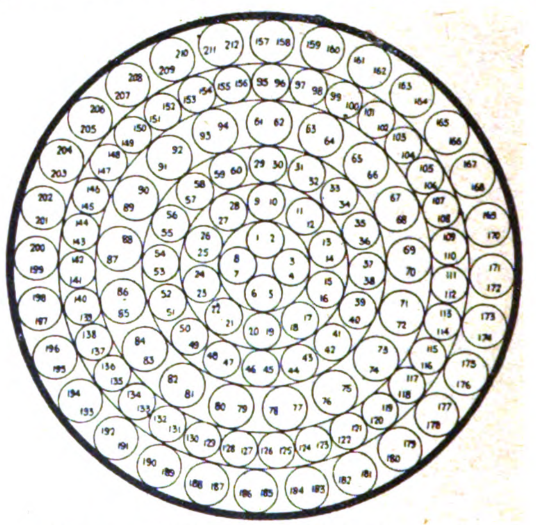


Fig. 9. — Câble à quartes Derby-Newcastle.

un câble comportant un ruban de plomb formant écran, posé autour des paires de conducteurs, l'écran étant relié à la terre sur toute sa longueur, en munissant d'une même armure deux des âmes de la couche périphérique en contact avec l'enveloppe extérieure en plomb du câble.

On pensa que ce type de câble augmenterait les difficultés d'entretien, et finalement on décida de poser un câble du type normal sans écran. Cette décision fut prise en raison du développement et du perfectionnement des méthodes d'équilibrage imaginées par la section des recherches. Ce câble est en service depuis deux ans ; il a rendu de grands services en soulageant les artères surchargées des midlands.

La figure 8 montre le réseau achevé ou autorisé actuellement. Quelques détails relatifs au câble Londres—Glasgow sont intéres-

sants. Le câble est long de 443 miles et contient 186.580 miles de fil de cuivre pesant 2.350 tonnes : le nombre moyen des paires est de 210; la plupart des paires seront chargées à la fois de bobines pour combinants et de bobines pour combinés; on se procurera ainsi des circuits supplémentaires. Des paires ont été réservées au service télégraphique sur la plus grande partie du parcours. L'enveloppe de plomb pèse 5.800 tonnes, et 5.300 tambours de câble ont été fabriqués. L'ensemble des travaux de fabri-

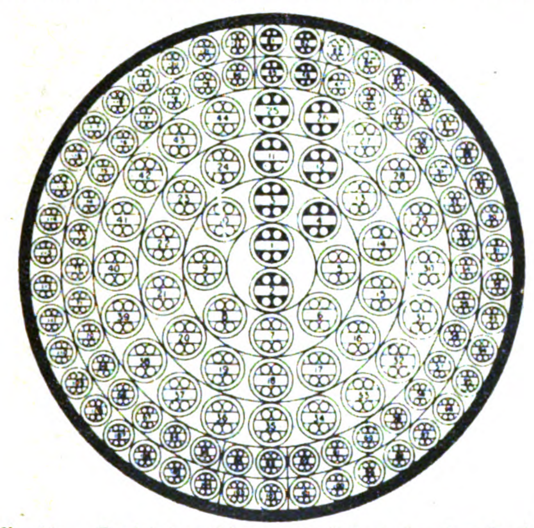


Fig. 10. — Projet du câble pour la liaison London-Derby.

cation, de pose, d'équilibrage et d'épissurage a été exécuté par les adjudicataires. On a passé huit marchés avec quatre des plus grands constructeurs de câble. Les travaux d'installation et de raccordement des bobines de charge et les travaux supplémentaires dans les chambres de charge ont été exécutés par le personnel de l'office britannique. Il y a sept stations de relais amplificateurs, dont cinq sont installés dans des bâtiments spéciaux et deux (celles de Leeds et d'Edimbourg) dans des locaux existants qui ont été modifiés et agrandis en conséquence. Quand toutes les paires seront chargées, les frais totaux de premier établissement dépasseront 2.250.000 livres.

Le nombre de paires change à Derby, Newcastle et Edimbourg, en raison des prévisions relatives au développement

éventuel du trafic. Entre Derby et Newcastle, il y a 212 paires : 60 paires de conducteurs pesant 20 livres par mile au centre du câble et 62 autres paires en fil de même diamètre séparées des précédentes par une couche de paires en fil de cuivre pesant 40 livres par mile. Cette séparation est nécessaire pour réduire l'importance du cross-talk entre les paires d'aller et de retour des circuits à quatre fils. Pour obtenir un meilleur équilibrage, le câble est divisé en quatre groupes bien séparés. Au sud de Derby, le câble contient 244 paires, dont 88 sont en fil pesant 40 livres par mile et 150 en fil pesant 20 livres par mile. La subdivision en groupes pour des raisons d'équilibrage et d'exploitation des circuits combinés est ici diamétrale au lieu d'être concentrique ; de plus, des quartes de séparation, prévues dans chaque couche de conducteurs du poids de 20 livres par mile, sont équilibrées indépendamment pour empêcher la contiguïté des circuits. Le câble Londres—Derby est unique en son genre, puisque c'est le premier câble où l'ensemble des travaux de construction (dose, épissurage, équilibrage et charge), en même temps que l'installation des amplificateurs à Fenny Stratford et à Derby, ont été exécutés par une seule maison, qui a garanti le bon fonctionnement général des différents circuits.

En définitive, à la date du 31 mars 1924, le réseau britannique interurbain comprenait 7.000 miles de conduites ; 4.800 miles de câble ont été posés depuis l'armistice ; ces câbles représentent plus de 1.000.000 de miles de fil ; le câble du calibre moyen contient 122 paires de conducteurs, dont chacun pèse 45 livres par mile, et les dépenses totales pour les six dernières années dépassent 10.700.000 livres.

Malgré son importance, ce réseau ne forme qu'une petite partie du réseau qui sera nécessaire dans l'avenir ; le réseau aérien comprend plus de 60.000 miles de lignes et presque un million de miles de fil. Une ligne tracée entre Sleaford et Shrewsbury ne coupe pas moins de 600 circuits interurbains aériens. Pendant nombre d'années encore, nous aurons à recourir aux lignes aériennes pour faire face aux développements du trafic, surtout dans les régions éloignées, et l'on doit renoncer à l'idée de suppri-

mer complètement les lignes aériennes qui suivent la même route que les câbles.

Les systèmes de téléphonie automatique à dynamoteurs [Wähler mit Maschinenantrieb] (K. Hersen, Oberpostrat à Berlin dans : *Telegraphen- und Fernsprech-Technik*, avril 1925). — Les systèmes de téléphonie automatique étudiés dans cet article sont :

le système rotatif Western Electric C°,

le système « panel » Western Electric C°,

le système automatique Ericsson.

Dans les trois cas, les balais des organes sélecteurs sont entraînés par des dynamoteurs, l'envoi des chiffres ayant seulement pour objet d'embrayer ou de débrayer en lieu et en temps voulus l'arbre ou la tige porte-balais sur l'organe dynamoteur d'entraînement.

L'auteur donne d'abord la description des organes de ces systèmes, encore peu répandus en Allemagne où le système Strowger à commande électromagnétique s'est surtout développé jusqu'à l'heure actuelle.

Il fait ensuite des comparaisons du plus grand intérêt entre la commande électromagnétique et la commande par dynamoteurs.

« Sans prétendre résoudre la question de savoir si les systèmes entraînés par dynamoteurs répondent d'ores et déjà à tous les desiderata possibles, il faut cependant reconnaître que les constructeurs trouvent dans ces systèmes des possibilités très appréciables. La pression des balais sur les broches terminales des lignes peut être plus forte, la distance entre les broches peut être augmentée ; on peut renverser à volonté le sens du mouvement, accélérer sa vitesse ; on reste indépendant du poids à entraîner et de la consommation de courant électrique. Il faut admettre, en conséquence, que le développement futur de la technique de la téléphonie automatique, surtout pour les grosses installations, devra se faire de plus en plus dans le sens de l'entraînement par dynamoteurs. »

Tous les systèmes à dynamoteurs fonctionnent, en pratique,

après avoir préalablement enregistré les impulsions numérotées par l'abonné dans un appareil dénommé *enregistreur*. Les sélecteurs ne déclenchent que par la suite, et sous le contrôle de l'enregistreur. On a souvent considéré, à tort, que l'existence d'un enregistreur était de toute nécessité dans un système à dynamoteur. M. Hersen insiste (p. 103, fig. 6) sur la possibilité de faire travailler des dynamoteurs directement sous la commande d'impulsions qui auraient été envoyées par le cadran numéroteur d'un abonné. Cependant cette possibilité théorique ne saurait prëvaloir contre l'utilité pratique incontestable des enregistreurs dans la plupart des cas :

« L'enregistreur peut servir à transposer les numéros envoyés par l'abonné et à faire opérer les sélecteurs sur des champs de sélection très vastes. Il faudrait cependant savoir, par des calculs comparatifs très poussés, si les avantages que l'on trouve à opérer sur des groupes de beaucoup de broches et à économiser un certain nombre d'étages de sélection, de sélecteurs et de lignes auxiliaires, ne sont pas balancés par l'introduction des enregistreurs et des sélecteurs d'enregistreurs.

« Il est pourtant évident que les circonstances seront d'autant plus en faveur des enregistreurs que ceux-ci pourront être des appareils plus simples ou moins coûteux.

« Un autre avantage des enregistreurs est qu'un appel, une fois saisi par eux, ne peut plus être perdu, même s'il y a de la saturation dans les groupes de sélecteurs par lesquels il doit passer. Cet appel subira seulement un retard, qui, dans la plupart des cas, sera d'une fraction de seconde seulement, quasi imperceptible pour l'abonné. Et cependant, grâce à ce maintien de l'appel, on aura évité la répétition de l'appel par l'abonné et l'on aura ainsi soulagé les chercheurs de lignes d'une manière très appréciable. »

D'un autre côté, les systèmes à enregistreurs, sont certainement d'un schéma électrique beaucoup plus difficile à suivre que les systèmes à commande directe par le numérotage de l'abonné. M. Hersen le reconnaît d'une façon fort nette. « Des sociétés comme la compagnie Bell d'Amérique peuvent former un

état-major suffisamment nombreux d'ingénieurs et de techniciens possédant la maîtrise la plus complète de ces installations, mais les administrations qui ne disposent que d'un personnel moins spécialisé et qui sont obligées de faire souvent des mutations sont forcées de tenir compte de la complication de certaines de ces installations ; aussi doit-on penser que le « panel system » pourrait difficilement trouver son emploi en dehors des frontières de l'Amérique. »

Pour conclure, M. Hersen estime que l'art de la téléphonie automatique est encore loin d'avoir atteint nulle part une forme bien stable.

E. Reynaud-Bonin.

BIBLIOGRAPHIE.

Le Post Office britannique et le téléphone automatique, par le colonel T.F. Purves, ingénieur en chef du Post Office britannique, membre de The Institution of Electrical Engineers. Brochure anglaise, traduite par les soins de la Compagnie française Thomson-Houston (1925).

C'est une vue d'ensemble de la téléphonie automatique que présente, avec sa haute autorité, le colonel Purves dans cette remarquable étude. Après avoir examiné les différentes solutions proposées au problème de la commutation automatique depuis le premier brevet Strowger, en date du 10 mars 1891, l'auteur en arrive à l'objet principal de son rapport : la téléphonie automatique dans les grands réseaux. Nous regrettons de ne pouvoir mentionner tous les passages intéressants de cet exposé, dont la généralité n'exclut nullement la précision. Nous nous bornerons à citer presque intégralement, à cause de son intérêt d'actualité, la description du fonctionnement du système « directeur », dont le principe vient d'être adopté pour le réseau de Londres.

La fonction du « director » est de recevoir et d'enregistrer l'appel dans sa forme originale et de procéder à son envoi dans les organes commutateurs du central en le traduisant en autant de trains d'impulsions que le nécessitent le tracé des lignes auxiliaires et la position des centres de commutation, afin de diriger l'appel jusqu'à l'abonné demandé. Dès que la connexion demandée a été établie, le « director » se déconnecte de la ligne et devient disponible pour d'autres appels.

D'ailleurs, la traduction effectuée par le « director » ne s'applique pas seulement au nombre d'impulsions que comporte un train, mais aussi au nombre des trains envoyés. L'abonné formera pour chaque appel 3 lettres et 4 chiffres, mais le « director » peut transformer ces 7 trains d'impulsion en n'importe quel nombre de trains de 5 à 10. Ce nombre maximum de trains est supérieur à

celui qui sera jamais nécessaire dans l'avenir pour le réseau de Londres.

Un exemple fera mieux comprendre le fonctionnement du directeur. L'abonné en décrochant, obtient, par son chercheur de lignes d'abonnés (C.P.R.), un premier sélecteur de bureau dans le système des centraux ordinaires; et, en même temps, le chercheur de sélecteurs « A » cherche un sélecteur « A » libre qui envoie à l'abonné le signal de transmission. Supposons que l'abonné désire le n° 2468 du central « Avenue ». Il numérote : « AVE 2468 », ce qui correspond à 283 2468. Le Aest reçu par le sélecteur « A » dònt les frotteurs sont élevés à la 2[e] rangée, et un directeur « BC » libre est trouvé dans le groupe des directeurs associés à cette rangée.

Les 8 impulsions correspondant au V arrivent dans l'électro d'ascension du commutateur BC à travers le contrôleur d'enregistrement dont les 2 frotteurs sont sur la première paire de contacts. A la fin de ce train, le contrôleur d'enregistrement avance d'un pas, et le train de 3 impulsions correspondant à E est reçu par l'électro de rotation du directeur BC. Les 6 balais du directeur BC sont donc sur le 3[e] contact de la 8[e] rangée de chaque banc. Le contrôleur d'enregistrement passe sur sa 3[e] paire de contacts.

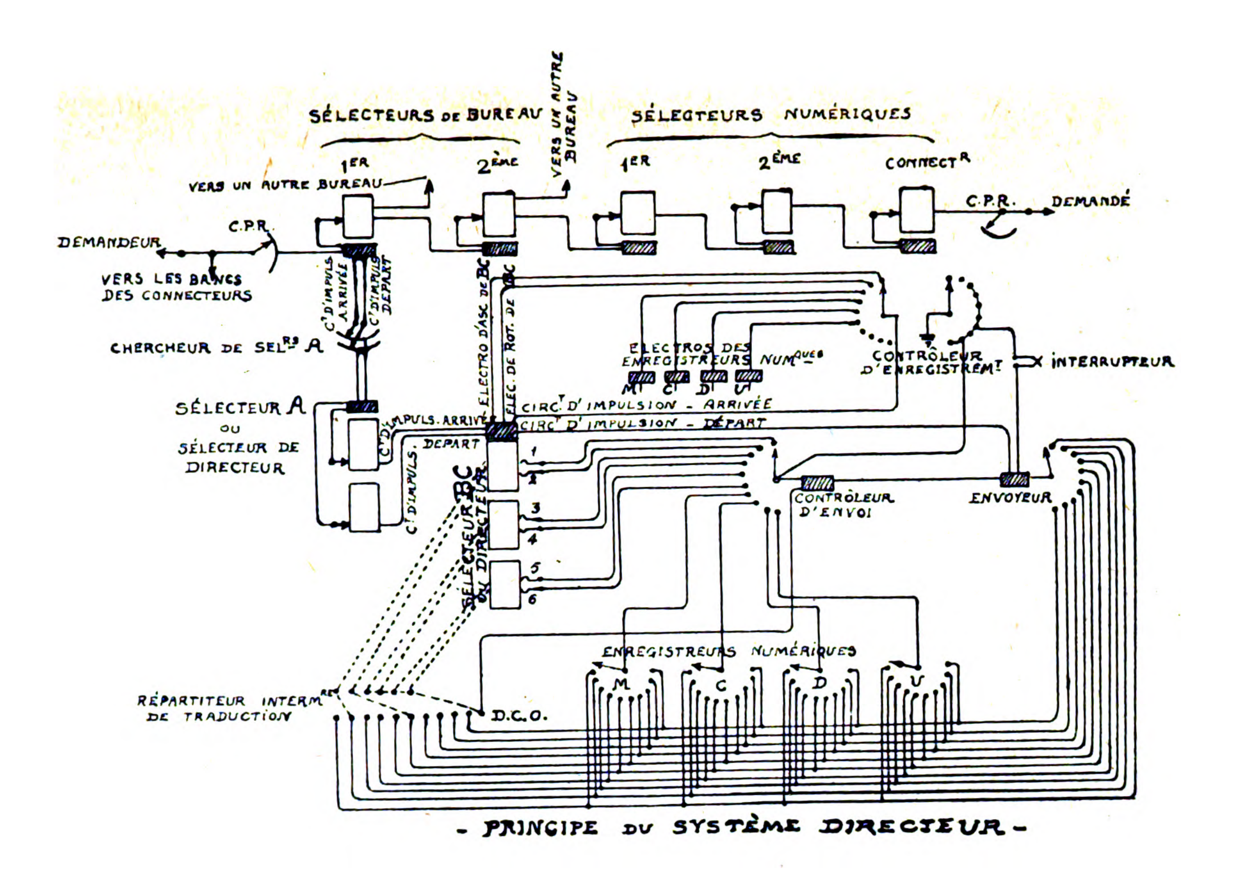
L'abonné envoie alors ses chiffres, et les trains d'impulsions représentant le numéro du demandé sont successivement dirigés par le contrôleur d'enregistrement sur les 4 enregistreurs numériques qui occupent alors les positions : 2 pour l'enregistreur des milliers, 4 pour celui des centaines, 6 pour celui des dizaines et 8 pour celui des unités. D'ailleurs, avant que cet enregistrement ne soit terminé, l'envoi de l'appel sous sa nouvelle forme a déjà commencé.

Supposons que du bureau d'origine on obtienne le central « Avenue » à travers 2 rangs seulement de sélecteurs de bureau et que la traduction dans le directeur pour disposer ces deux sélecteurs dans la position voulue doive être : 2.6, c'est-à-dire qu'il suffise de faire passer seulement 2 trains d'impulsions sur les 6 qui ont été prévus par les 6 circuits des balais du directeur « BC ». La traduction est effectuée en connectant le 1[er] des 6 contacts de banc du directeur BC au contact n° 2 du banc de l'envoyeur et le 2[e] contact de banc BC au contact n° 6 de l'envoyeur Les contacts de banc res-

tants (nos 3, 4, 5 et 6) de BC seront connectés au contrôleur d'envoi à travers le dernier point marqué D.C.O. afin de mettre ce contrôleur sur la position qu'il doit occuper pour la décharge des enregistreurs numériques au moment voulu.

Les 3 lettres de l'indicatif ayant été formées, les frotteurs du contrôleur d'enregistrement seront sur la 3e paire de contacts, le contrôleur d'envoi sera sur son 1er contact. Le frotteur à la terre du contrôleur d'enregistrement fermera donc un circuit par le frotteur 1 du directeur BC, le répartiteur et le contact n° 2 de l'envoyeur, qui sera ainsi à la terre. Au même moment, le frotteur à la terre ferme un circuit, permettant aux impulsions provenant des ressorts interrupteurs d'une machine à impulsions fonctionnant sans arrêt, d'être dirigées sur l'électro de l'envoyeur qui avance sur ses contacts. A chaque pas, une impulsion est envoyée au premier sélecteur de bureau, par le circuit de départ des impulsions indiqué sur la figure ci-jointe. Quand le frotteur de l'envoyeur atteint son 2e contact, qui est mis à la terre, le fonctionnement d'un relais empêche les impulsions suivantes d'être envoyées au 1er sélecteur de bureau. Le contrôleur d'envoi atteint maintenant le circuit du 2e frotteur de BC et l'envoyeur revient à la position de repos. Pendant ce temps, les frotteurs du 1er sélecteur de bureau se sont élevés sur la 2e rangée de ses contacts de banc et ont trouvé une ligne auxiliaire allant à un 2e sélecteur de bureau libre.

Par le même procédé, les frotteurs du 2e sélecteur de bureau seront amenés sur la rangée n° 6 et trouveront une ligne libre vers le central « Avenue », pendant que l'envoyeur revient de nouveau à sa position de repos et que le contrôleur d'envoi se met à la position n° 3. Sur cette position, il trouve un circuit par les frotteurs nos 3, 4, 5 et 6 du directeur BC, qui représentent les circuits de traduction non utilisés et qui ont tous été réunis au point D.C.O. Les balais du contrôleur d'envoi tournent ainsi jusqu'à la position n° 7. Les positions nos 7, 8, 9 et 10 sont reliées aux 4 « enregistreurs numériques » sur lesquels les 4 chiffres de l'abonné demandé du central « Avenue » ont été emmagasinés. De ces positions, le contrôleur d'envoi va contrôler successivement l'envoi des chiffres des milliers, des centaines, des dizaines et des unités. Ceux-ci n'ayant pas besoin



- PRINCIPE DU SYSTÈME DIRECTEUR -

de traduction, les bancs des enregistreurs numériques sont multiplés directement sur le banc de l'envoyeur. Les impulsions sont envoyées par la ligne auxiliaire à « Avenue » et préparent les sélecteurs numériques à ce central. Dès que le chiffre des unités a été envoyé par le directeur, ce dernier est coupé du 1er sélecteur de bureau, tous les organes reviennent au repos et l'abonné appelant est raccordé au connecteur situé à « Avenue », d'où l'abonné appelé est sonné.

Le circuit d'impulsions d'arrivée, par lequel les impulsions de l'abonné vont au directeur, demeure entièrement séparé, au 1er sélecteur de bureau, du circuit d'impulsions de départ par l'intermédiaire duquel le directeur fait passer ses impulsions à travers les sélecteurs de bureau et les sélecteurs numériques jusqu'à ce que la connexion ait été complètement établie et que le directeur soit revenu au repos. Les impulsions sur le circuit de départ commencent dès que les 3 lettres du central demandé ont été formées, c'est-à-dire dès que le contrôleur d'enregistrement atteint son 3e contact et met la terre sur le contrôleur d'envoi et sur l'interrupteur de la machine d'impulsions. La période d'enregistrement des impulsions d'appel et celle de l'envoi de cet appel chevauchent donc, et le délai effectivement nécessité par l'établissement de la connexion avec l'abonné demandé est, en moyenne, de 2 secondes seulement plus grand qu'il ne serait si l'appel était envoyé du cadran directement dans les sélecteurs.

Englisch-deutsches und deutsch-englisches Wörterbuch der elektrischen Nachrichtentechnik, par O. Sattelberg. Erster Teil : Englisch-deutsch. — Berlin, Julius Springer, 1925. — 1 vol. in-16 de 292 p. relié en toile. Prix : 9 mark.

Les dix dernières années ont modifié profondément la technique des communications télégraphiques et téléphoniques ; aussi les vocabulaires en plusieurs langues ne sont-ils plus à jour. Celui de M. O. Sattelberg, dont le premier volume vient de paraître, sera de la plus grande utilité à tous les techniciens, qu'il s'agisse de télégraphie ou de téléphonie, de lignes aériennes ou de câbles à longue distance, de téléphonie automatique ou de T.S.F.. L'auteur ne s'est pas contenté, comme certains de ses prédécesseurs, de traduire lit-

téralement d'une langue dans une autre : il a puisé aux meilleures sources les expressions exactes, dont les revues allemandes, américaines et anglaises. Quoique d'un format très maniable, l'ouvrage semble très complet ; pour en donner une idée, disons qu'on n'y trouve pas moins, par exemple, de 93 expressions renfermant le mot anglais *resistance*.

Souhaitons que paraissent bientôt les volumes où interviendra la langue française.

Théorie du rayonnement et des quanta, par J.-H. JEANS, traduit sur la deuxième édition anglaise par G. Juvet, professeur à l'université de Neuchâtel. Paris, librairie scientifique Albert Blanchard, 1925. — Un volume de 124 p. de la *Collection de monographies scientifiques étrangères*, publiée sous la direction de G. Juvet. — Prix : 13 francs.

La première édition anglaise de cet ouvrage, qui a paru en 1914 sous le titre de *Report on radiation and the quantum-theory*, était une apologie ; dix ans ont passé ; il n'y a plus à plaider la cause des quanta : elle est gagnée ; M. Jeans a publié une seconde édition, profondément remaniée ; c'est un livre d'informations, complément du beau traité de Sommerfeld, *Atombau und Spektrallinien*, aujourd'hui traduit en français (*La constitution de l'atome et les raies spectrales*). On pourra trouver d'utiles renseignements sur la théorie des quanta dans un exposé didactique de M. Edmond Bauer, *Les quantités élémentaires d'énergie et d'action*, inséré dans l'ouvrage intitulé : *Les idées modernes sur la constitution de la matière* (1912) (Gauthier-Villars, 1913) ; lire aussi, à titre d'introduction, la théorie de Planck dans le *Précis d'optique* de Drude, tome II. Sont aussi très intéressants à consulter les Hefte 15 et 16 de la Sammlung Vieweg intitulés *Die Grundlagen der Quantentheorie in elementarer Darstellung* et *Anwendungen der Quantenhypothese in der kinetischen Theorie der festen Koerper und der Gase* par Siegfried Valentiner, professeur de physique à l'école des mines de Klausthal ; mais il y aura surtout profit à lire la thèse de M. Léon Brillouin et son rapport intitulé : *La théorie des quanta et l'atome de Bohr* (1922), qui enrichit le recueil des con-

férences-rapports de documentation sur la physique, édité par la société du *Journal de physique* et dont est dépositaire la librairie scientifique Albert Blanchard. La théorie des quanta tire son origine de la divergence constatée entre l'expérience et les anciennes formules du rayonnement : elle se rattache donc étroitement à l'optique et à la théorie électromagnétique de la lumière ; dans son développement, elle apporte de nouvelles idées sur l'effet Zeemann et l'effet Stark ; elle donne les lois des raies spectrales ; elle nous aide à pénétrer le secret de la constitution atomique. A ce titre, elle intéresse les électriciens ; mais c'est une conception nouvelle qui s'étend à tous les domaines de la pensée et qui mérite notre attention, indépendamment de l'utilité que chacun peut en espérer, dans le champ particulier de l'activité scientifique où il s'est spécialisé. (J.-B. P.)

Le Gérant,

Léon EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS. — MCMXXV

14e ANNÉE. — N° 11. NOVEMBRE 1925. PRIX : 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M. LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 RUE THENARD PARIS, Ve.

Prix de l'Abonnement annuel : France......... 36 francs. Étranger.......... 4 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES.

AVIS.

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VII[e].

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

TABLE DES MATIÈRES.

LA TRANSMISSION TÉLÉPHONIQUE DANS UNE GRANDE CITÉ MODERNE ET DANS SA BANLIEUE ENVISAGÉE AU POINT DE VUE ÉCONOMIQUE,

Par L. AGUILLON ET G. VALENSI,
Ingénieurs en chef des Postes et Télégraphes.

(*Suite.*)

Ayant défini les standards de transmission et les types de conducteurs pour lignes en câbles et pour lignes aériennes de la région parisienne, le problème consiste à réaliser ces standards de transmission avec ces conducteurs *de la manière la plus économique*.

La façon de procéder est brièvement la suivante : on considère les différentes solutions possibles et l'on calcule pour chacune le coût annuel, c'est-à-dire la somme des différents termes suivants : *a*) intérêt du capital engagé, *b*) annuité d'amortissement (de l'installation et de la ligne), *c*) frais éventuels d'assurance par an, *d*) frais d'entretien courant annuels, *e*) frais d'exploitation annuels, *f*) frais généraux (ou part des frais administratifs incombant à la ligne ou à l'installation considérée). Lorsque l'installation considérée doit être établie immédiatement, c'est ce coût annuel qu'on doit lui affecter ; lorsqu'elle ne doit être établie que dans un certain temps (par exemple dans 5 ans), c'est la *valeur présente* du coût annuel de cette installation qu'on doit prendre en considération (1). On compare entre elles les *charges annuelles totales* relatives à chacune des solutions envisagées et l'on choisit la solution qui donne la charge annuelle totale la plus basse.

---

(1) La valeur présente du coût annuel d'une installation réalisable dans 5 ans est la somme dont il faut dès maintenant disposer pour que dans 5 ans avec les intérêts composés cette somme devienne égale au coût annuel de l'installation prévue.

Pour appliquer une telle méthode de calcul à l'établissement du plan fondamental de la région parisienne (c'est-à-dire au problème de la détermination des bureaux téléphoniques, de leurs emplacements optima et des districts qu'ils doivent desservir respectivement), il est nécessaire que l'ingénieur chargé des études de transmission et l'ingénieur chargé des études de trafic soient en liaison intime. Les décisions prises au point de vue de l'écoulement du trafic retentissent sur le problème de transmission et de même la transmission bien souvent impose certaines nécessités à l'écoulement du trafic.

A titre d'exemple prenons un cas extrême, celui d'une zone urbaine de petite importance comportant un bureau central pour le service interurbain et pour le service de transit urbain et un certain nombre de bureaux locaux desservant chacun une petite portion de la zone téléphonique considérée. Si un tel réseau est exploité par exemple manuellement, les facilités d'exploitation sont maxima puisque toutes les communications doivent être aiguillées sans distinction vers le bureau central chargé seul de les distribuer, les lignes auxiliaires ont un rendement maximum, car l'on sait que plus le nombre des lignes auxiliaires groupées ensemble est grand et plus le rendement individuel de chacune d'elles est élevée. Un tel réseau présenterait donc au point de vue du trafic l'efficacité maximum, mais il en serait tout autrement au point de vue de la transmission pour peu que la zone téléphonique soit étendue. En effet, les conducteurs des lignes auxiliaires étant les mêmes dans chaque faisceau, leur diamètre devrait être suffisant pour permettre d'obtenir le standard de transmission désiré dans le cas le plus défavorable, c'est-à-dire pour la plus longue communication possible. Si un tel mode d'écoulement du trafic était appliqué aux conditions de la région parisienne, il serait certainement nécessaire que chacune des lignes auxiliaires soit non seulement d'un diamètre très grand, mais encore munie d'une pupinisation forte, pour la seule raison que, pour certaines communications représentant peut-être 5 % du trafic au plus, il est nécessaire de satisfaire aux exigences de la transmission téléphonique.

Pour une grande région urbaine comme la région parisienne, la disposition la plus rationnelle et la plus économique dans l'ensemble, en se plaçant à la fois au point de vue de la transmission et au point de vue du trafic, est représentée sur la

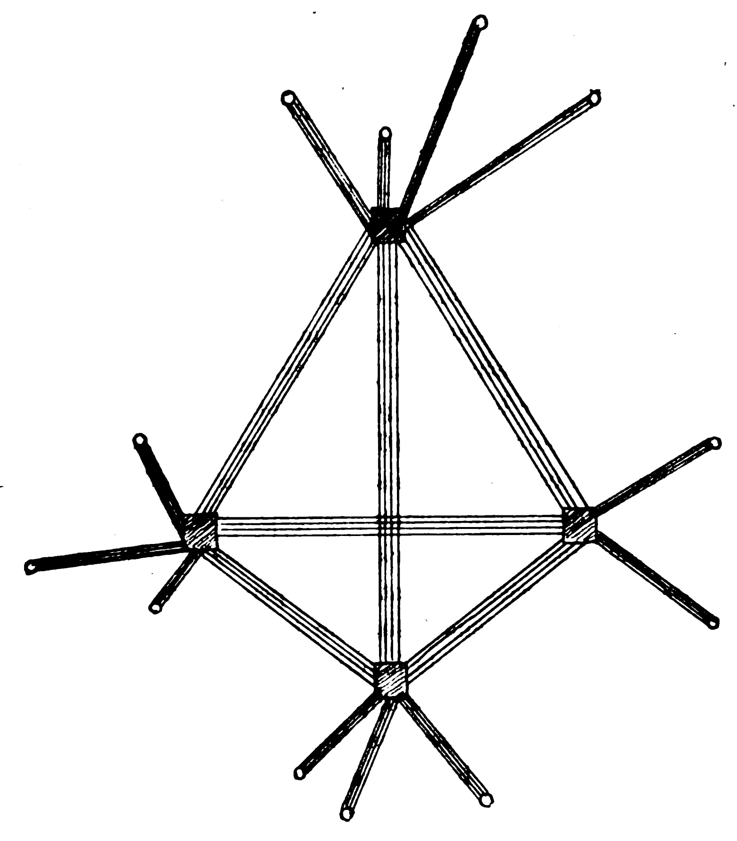


Fig. 5.
■ Centre de jonction principal. ● Bureau central.

figure 5. Quelques centres de jonction principaux (4, par exemple) servent à écouler tout le trafic indirect. Ces quatre centres sont reliés directement aux bureaux centraux avec lesquels les relations de trafic sont les plus importantes. Entre chaque bureau central et son centre de jonction, il y a 4 groupes différents de lignes auxiliaires : un groupe de lignes d'arrivée et un groupe de lignes de départ en conducteurs de petit diamètre pour les com-

munications directes entre le bureau considéré et le centre de jonction considéré, — un groupe de lignes d'arrivée et un groupe de lignes de départ de plus grand diamètre (et au besoin pupinisées), dont l'efficacité est par suite meilleure pour le trafic urbain de transit et pour le trafic interurbain. Le nombre optimum de centres de jonction principaux à prévoir et l'emplacement le plus économique de ces centres doivent faire l'objet d'études technico-économiques basées sur la considération des grands courants commerciaux entre les diverses parties de la région considérée. Une analyse précise de la répartition du trafic téléphonique actuel entre chacun des districts de la région parisienne et les autres districts de cette région permet en effet de déterminer la direction générale des voies de communication actuelles les plus importantes dans Paris et sa banlieue. D'autre part, des études de développement permettent de prévoir le nombre total des communications sur lequel on peut compter pour chacune de ces voies dans un avenir de 5 ou 10 ans. Grâce à ces statistiques du trafic actuel et à ces prévisions systématiques de développement, on peut tracer une carte schématique des grands courants de trafic téléphonique dans la région parisienne et assigner à chacun de ces courants un tracé précis passant par les principales rues et routes de Paris et de la banlieue : sur une telle carte, l'emplacement approximatif des centres de jonction principaux apparaît très clairement ; une telle étude appliquée à la région parisienne conduit à prévoir quatre centres de jonction principaux dont les emplacements sont les bureaux existants ou en construction de Guyot (nord-ouest), Combat (nord-est), Daumesnil (sud-est) et Vaugirard (sud-ouest).

Les centres de jonction principaux étant déterminés, il faut maintenant entrer dans le détail du projet et fixer les emplacements de *tous* les bureaux téléphoniques à prévoir dans l'ensemble de la région parisienne (Paris et banlieue).

Pour cela il convient de diviser la région parisienne en plusieurs zones dans chacune desquelles la densité téléphonique, prévue par les études de développement est homogène (on appelle densité téléphonique le nombre des abonnés existants et

prévus par kilomètre carré) ; il va sans dire que la densité est très différente dans les zones situées au centre de Paris ou dans les zones de grande banlieue situées aux limites du département de la Seine ; on conçoit par suite que ces zones doivent être traitées d'une façon particulière au point de vue du nombre et de l'emplacement des bureaux.

Dans chacune des zones de densité homogène, il y a lieu de déterminer le nombre le plus économique de bureaux à prévoir, les emplacements optima de ces bureaux et les dates approximatives auxquelles ils doivent entrer en service.

On peut envisager dans chaque zone l'établissement d'un ou de plusieurs bureaux. Lorsqu'on établit plusieurs bureaux au lieu d'un seul, une certaine proportion de trafic urbain qui était du trafic local devient du trafic par lignes auxiliaires ; par conséquent le prix des lignes auxiliaires augmente ; mais, par contre, le district desservi par chacun des bureaux ayant un rayon maximum plus petit, les lignes d'abonnés y sont plus courtes et, pour un même standard de transmission interurbain, peuvent être réalisées avec des conducteurs de plus petit diamètre : pour ces deux raisons le prix de revient est moindre. Les considérations de coût annuel minimum permettent seules de déterminer dans chacune des zones à densité téléphonique uniforme, la longueur maximum des lignes d'abonnés reliés à un même bureau (ou leur résistance maximum) et par suite le nombre (et les emplacements exacts) des bureaux à prévoir dans cette zone. La figure 6 montre, en fonction du nombre des bureaux d'une même zone de densité uniforme, le pourcentage de trafic local qui devient du trafic de transit par lignes auxiliaires quand on augmente le nombre de bureaux. La courbe de cette figure 6 permet, connaissant d'autre part le standard de service que l'on désire réaliser (pourcentage d'appels perdus à l'heure la plus chargée) ainsi que le mode de groupement des lignes auxiliaires (règle d'écoulement du trafic), de déterminer la quantité de lignes auxiliaires nécessaires dans une zone à densité homogène déterminée en fonction du nombre de bureaux envisagés pour cette zone.

A ce sujet il y a lieu d'attirer l'attention sur un point très important en ce qui concerne la téléphonie automatique : jadis on avait tendance et l'on y était même contraint par les méthodes d'exploitation manuelle, à diviser les lignes auxiliaires en faisceaux de petite importance, mais très nombreux, ce qui entraînait une diminution du rendement individuel de chacune de ces lignes, et, dans l'ensemble, une augmentation importante du kilométrage total des lignes auxiliaires. Au fur et à mesure

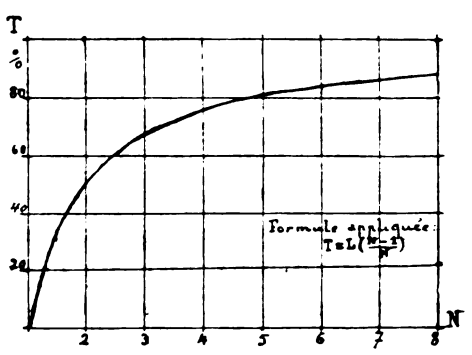


Fig. 6. — N, nombre de bureaux prévus dans la zone à densité téléphonique homogène considérée. T, pourcentage de trafic local devenant du trafic de transit par suite de la division de la zone. L, trafic local antérieur à la division de la zone.

que la téléphonie automatique s'est perfectionnée, on a été conduit à accroître le rendement individuel des lignes auxiliaires en utilisant des sélecteurs ayant un champ de sélection étendu et d'autre part parcourant ce vaste champ dans un temps relativement très court. La figure 7 montre comment varie le nombre de lignes auxiliaires à prévoir en fonction du nombre de communications minutes (produit du nombre de communications par leur durée) à l'heure la plus chargée pour différents champs de sélection et pour différents standards de service (pourcentage d'appels perdus à l'heure la plus chargée). MM. Erlang, Christensen, Molina, O'Dell, etc... ont publié de nombreux travaux sur cette question et établi des courbes analogues à celles de la figure 7 qui permettent de calculer facilement le nombre des lignes auxiliaires et le nombre des organes commutateurs à prévoir dans une zone téléphonique déterminée pour réaliser un standard de service déterminé.

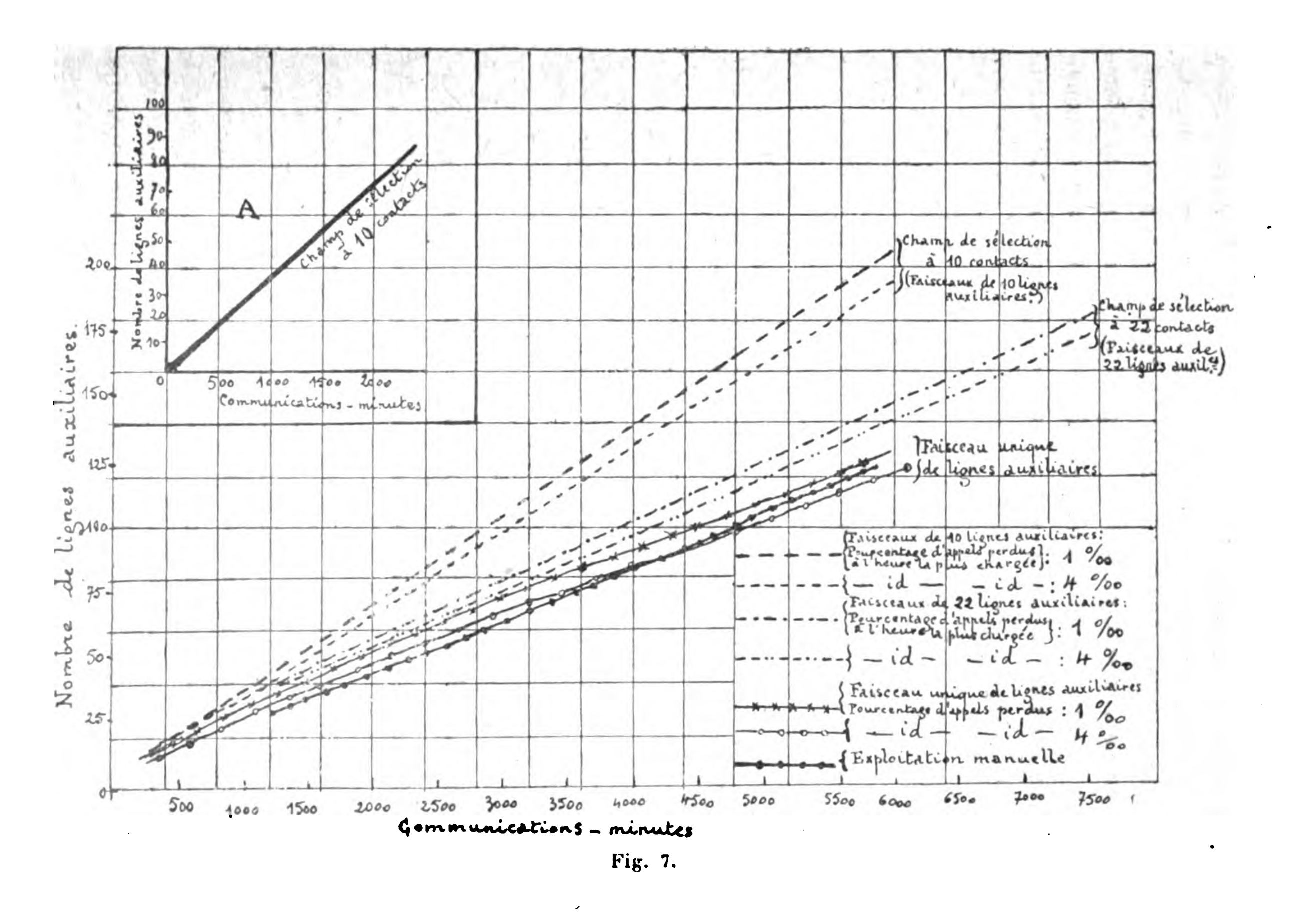

A
Champ de sélection à 10 contacts
Nombre de lignes auxiliaires
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100
0 500 1000 1500 2000
Communications - minutes
Champ de sélection à 10 contacts
(Faisceaux de 10 lignes auxiliaires.)
Champ de sélection à 22 contacts
(Faisceaux de 22 lignes auxil.es)
Faisceau unique de lignes auxiliaires
Faisceaux de 10 lignes auxiliaires: Pourcentage d'appels perdus à l'heure la plus chargée: 1 ‰
— id — — id — : 4 ‰
Faisceaux de 22 lignes auxiliaires: Pourcentage d'appels perdus à l'heure la plus chargée: 1 ‰
— id — — id — : 4 ‰
Faisceau unique de lignes auxiliaires Pourcentage d'appels perdus : 1 ‰
— id — — id — 4 ‰
Exploitation manuelle
Nombre de lignes auxiliaires.
0 25 50 75 100 125 150 175 200
500 1000 1500 2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000 5500 6000 6500 7000 7500
Communications - minutes

Fig. 7.

Voici comment on peut appliquer ces données à chacune des zones de densité homogène de la région parisienne [1]. Il faut déterminer d'abord pour chacune de ces zones la longueur moyenne et le coût annuel moyen des lignes d'abonnés. En première approximation, si l'on désigne par C la capacité ultime d'un bureau téléphonique et par D la densité de la zone considérée (nombre d'abonnés existants ou prévus par kilomètre

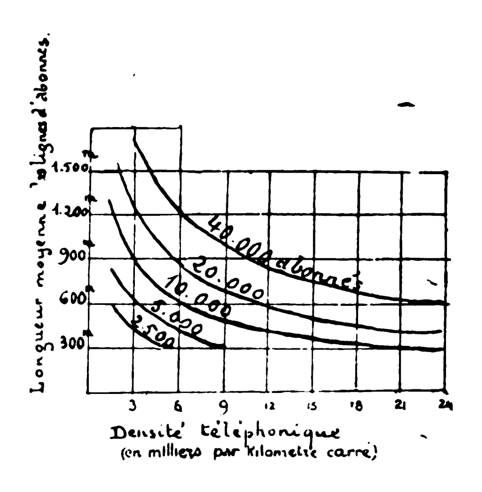
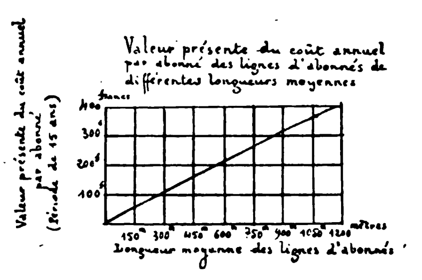


Fig. 8.

carré), la surface du district que peut desservir chaque bureau est $\frac{C}{D}$. Si l'on suppose que le district est circulaire et de rayon R, on a $\frac{C}{D} = \pi R^2$ d'où $R = 0,565 \times \sqrt{\frac{C}{D}}$; R est la longueur maximum d'une ligne d'abonné dans ce district ; la longueur moyenne est approximativement les 7/10 de la longueur maximum, toutes ces longueurs étant mesurées à vol d'oiseau ; pour tenir compte des détours du tracé réel, il faut multiplier par un coefficient que l'on peut estimer à 1,4. Par suite la longueur réelle moyenne

(1) Voir à ce sujet la communication faite le 13 novembre 1923 à l'Institution des Ingénieurs Électriciens du Post Office Britannique par M. le capitaine J.G. Hines, *Some considerations affecting the lay-out of telephone plant in a multi-exchange area.*

d'une ligne d'abonné est donnée par la formule : $0,565\sqrt{\frac{C}{D}} \times 0,7 \times 1,4$; ce qui est pratiquement équivalent à $0,565\sqrt{\frac{C}{D}}$, c'est-à-dire au rayon maximum R du district considéré. En appliquant cette formule à diverses densités téléphoniques D et à diverses capacités de bureaux téléphoniques C, on peut tracer les courbes de la figure 8 donnant la longueur moyenne des lignes d'abonnés en fonction de la densité téléphonique. Si l'on suppose que les lignes d'abonnés sont établies avec un type unique de conducteur (par exemple en fil souterrain de 0mm,6 de diamètre), on peut tracer facilement la courbe de la figure 9 donnant, en fonction de la longueur moyenne de la ligne d'abonné, la *valeur présente* du coût annuel de chaque ligne d'abonné, valeur présente cal-



Hypothèses : lignes d'abonnés en fil de 0mm, 5 ; 70 °/o des lignes établies immédiatement ; 30 °/o établies dans 8 ans.

Fig. 9.

culée en supposant par exemple une période de 15 années (les études de développement de réseau permettent en effet non seulement de prévoir quels seront les abonnés futurs mais encore les dates approximatives auxquelles ces abonnés demanderont leur rattachement au réseau) ; en calculant la valeur présente du coût annuel de la ligne d'abonné dans chacune des zones à densité homogène, il convient par suite de prendre en considération le fait que les lignes d'abonnés ne seront pas toutes posées en même temps, et que à un instant quelconque il y aura toujours d'autre part une certaine proportion de conducteurs disponibles dans les câbles existants, proportion qu'on peut admettre à 25 °/o du nombre total des paires de conducteurs existantes d'après la pratique anglaise, américaine et française. Le coût annuel de la ligne d'abonné étant ainsi calculé, il convient de déterminer également le nombre des lignes auxiliaires locales et le coût des lignes auxiliaires locales nécessaires pour satisfaire au service

par lignes auxiliaires dû à la division de la zone à densité homogène considérée en 2 ou plusieurs districts. La formule suivante permet de déterminer la valeur présente du coût annuel par abonné des lignes auxiliaires locales nécessitées par la division de la zone considérée en plusieurs districts :

$$\frac{P \times C \times L \times J}{N} + \frac{P \times E \times J}{N};$$

C désigne ici le coût annuel d'un kilomètre de ligne auxiliaire compte tenu des lignes disponibles non utilisées ;

L désigne la longueur en kilomètre des lignes auxiliaires considérées ;

J désigne le nombre de lignes auxiliaires (lignes de jonction) nécessaires pour satisfaire au standard de service adopté (voir figure 7) ;

E désigne le coût de l'équipement additionnel de chacune des lignes auxiliaires ;

N désigne le nombre total des lignes d'abonnés de la zone à densité téléphonique homogène considérée ;

P est un coefficient permettant de convertir le coût annuel en valeur présente suivant la date d'établissement prévue pour les lignes auxiliaires nouvelles ;

P, C, E ont des valeurs variables suivant les prix des câbles et des organes d'équipement des lignes auxiliaires et suivant le loyer de l'argent.

Il faut également d'autre part calculer la valeur présente du coût annuel par abonné des terrains et bâtiments du bureau central téléphonique. Ce coût n'est pas le même pour les bureaux situés à l'intérieur de Paris que pour les bureaux de banlieue. La figure 10 donne une idée des valeurs présentes approximatives, calculées pour une durée de 15 ans, par ligne d'abonné, du coût annuel d'un bureau central.

En faisant la somme du coût annuel de la ligne d'abonné, du coût annuel par abonné des lignes auxiliaires locales, et du coût annuel par abonné des terrains et bâtiments du bureau central, on peut calculer le *prix de revient par abonné de chacun*

des modes de distribution possibles envisagés pour le trafic téléphonique à l'intérieur d'une zone à densité téléphonique homogène. Cela permet de déterminer, dans chacune des zones à den-

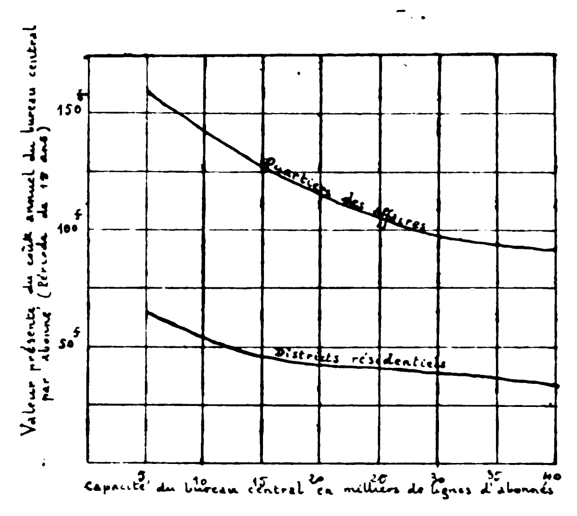


Fig. 10.

sité homogène de la région parisienne par exemple, la capacité ultime optimum des bureaux téléphoniques à prévoir, d'où

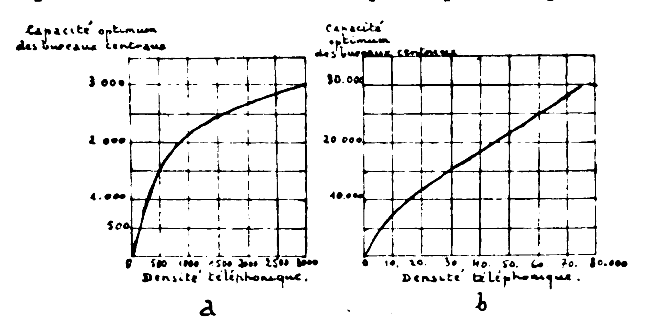


Fig. 11.

résulte une valeur maximum la plus économique pour la résistance à donner aux lignes d'abonnés, ainsi que le nombre optimum de bureaux téléphoniques à prévoir dans la zone considérée. La figure 11 ci-jointe donne le résultat général d'une telle étude pour les réseaux téléphoniques automatiques d'une grande cité moderne (région parisienne par exemple) en admettant cer-

tains prix déterminés pour les fournitures et un loyer d'argent déterminé. Cette figure 11 indique, pour chaque densité téléphonique, la capacité ultime optimum des bureaux téléphoniques à prévoir ; on en déduit facilement, pour chaque zone à densité téléphonique homogène de la région parisienne, le nombre des bureaux à prévoir et leur emplacement approximatif.

Les résultats de telles études économiques, et par suite le tracé de la courbe de la figure 11, sont très différents dans le cas de l'exploitation automatique et dans le cas de l'exploitation manuelle ; cela provient principalement de ce que, dans les réseaux automatiques, les lignes auxiliaires sont relativement moins coûteuses car elles n'entraînent pas les dépenses d'exploitation importantes qu'elles nécessitent dans les réseaux manuels. Dans les réseaux automatiques seul le coût de l'équipement de la ligne auxiliaire doit être pris en considération, ce qui permet de bénéficier au maximum des économies considérables qui peuvent résulter de la diminution de la longueur moyenne des lignes d'abonnés. Il en résulte que l'adoption du service automatique dans une grande région urbaine conduit généralement à augmenter le nombre de bureaux et à diminuer leur capacité. Il n'en est pas ainsi généralement pour les zones intérieures des grandes villes où la densité téléphonique est telle que les bureaux d'une capacité de 10.000 lignes sont justifiés aussi bien dans le service automatique que dans le service manuel (limite maximum de la capacité pratique des bureaux, assignée, dans l'exploitation manuelle, par la nécessité de mettre toutes les lignes à portée de la main de l'opératrice, et dans l'exploitation automatique par les nécessités de sélection). Mais cette règle s'applique en général aux zones de banlieue à densité téléphonique faible : pour ces zones le nombre le plus économique de bureaux est généralement plus grand pour l'exploitation automatique que pour l'exploitation manuelle, d'autant plus que dans beaucoup de ces bureaux il n'y a pas lieu de loger d'opératrices pour les services de renseignements etc., ce qui permet d'utiliser des constructions petites et bon marché [1].

(1) Voir à ce sujet l'intéressante communication à l'Institution des ingé-

Supposons qu'à la suite d'études techniques et économiques analogues à celles que nous venons de décrire, on ait dressé pour la région parisienne une carte indiquant les 4 centres de jonction principaux, le bureau central interurbain et les différents bureaux urbains de Paris et de la banlieue, ce qui suppose que l'on a déterminé dans chaque zone de densité homogène le nombre optimum de bureaux, la capacité ultime de chacun de ces bureaux et la longueur maximum (ou résistance maximum des lignes d'abonnés). La figure 12 représente une carte de ce genre, les bureaux urbains de Paris ayant été omis pour la clarté du dessin. Nous supposerons que chacun des bureaux centraux est relié par lignes auxiliaires au centre de jonction principal correspondant, et que les 4 centres de jonction principaux sont d'autre part reliés deux à deux par des lignes auxiliaires conformément au schéma de la figure 5. Nous supposerons également qu'entre un bureau quelconque et un centre de jonction (ou entre deux centres de jonction), il existe 4 groupes différents de lignes auxiliaires : lignes d'arrivée de petit diamètre, lignes de départ de petit diamètre, lignes d'arrivée de gros diamètre et lignes de départ de gros diamètre, le nombre de lignes auxiliaires dans chaque faisceau étant déterminé par les considérations de trafic et le standard de service à assurer (2). Il s'agit maintenant, connaissant la résistance maximum des lignes d'abonnés reliées à chacun des bureaux centraux prévus, de déterminer les conducteurs à employer pour les différentes lignes d'abonnés et pour les différentes lignes auxiliaires dans toute la région parisienne afin de satisfaire aux standards de transmission adoptés dans toutes les communications possibles interurbaines ou urbaines.

La méthode graphique suivante souvent employée dans les compagnies téléphoniques américaines permet de résoudre aisé-

---

nieurs électriciens du Post Office britannique, par M. le colonel T. F. Purves, ingénieur en chef du Post Office et intitulée : *Le Post Office britannique et le téléphone automatique*.

(2) Entre chaque centre de jonction principal et le bureau interurbain, et, éventuellement entre plusieurs bureaux centraux situés à l'intérieur de Paris et le bureau interurbain, il existe un seul groupe de lignes auxiliaires directes de gros diamètre, au besoin pupinisées (lignes intermédiaires).



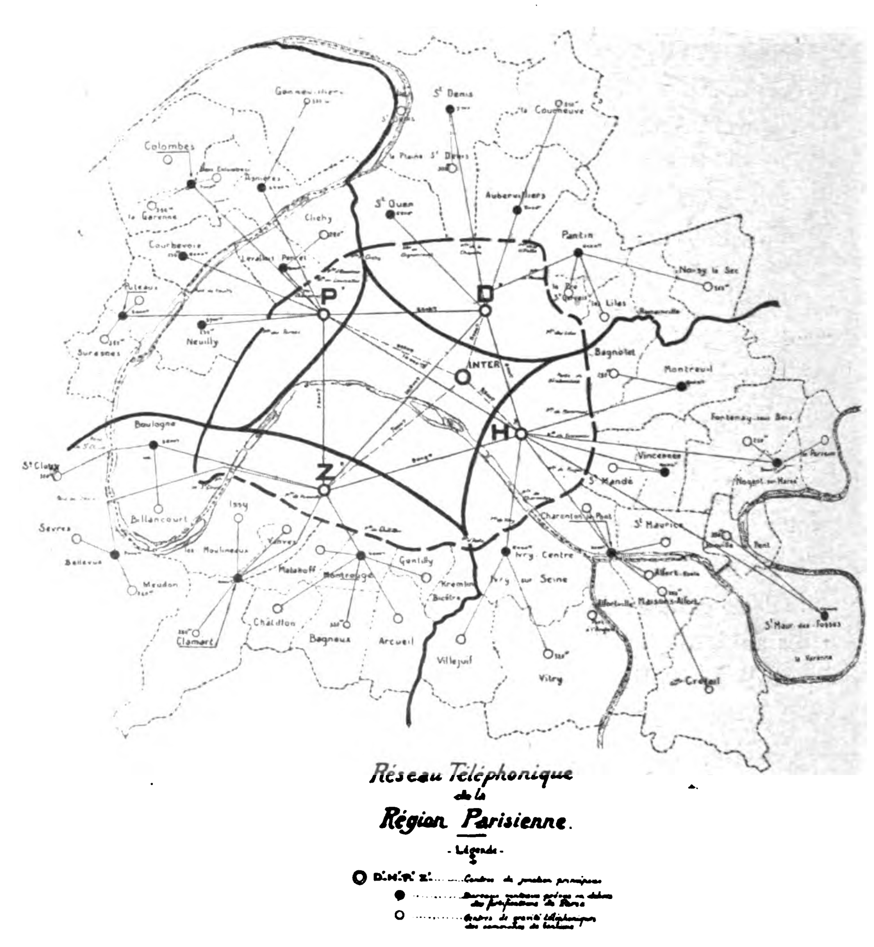


Fig. 12.

NOTE

Les indications numériques qui figurent en regard de chaque bureau central de la banlieue donnent la distance, exprimée en mètres, de ce bureau au centre de jonction correspondant. Exemple : « Clamart 4.000ᵐ » signifie que le bureau de Clamart est à 4 kilomètres du centre de jonction Z'.

Les indications numériques qui figurent en regard de certains centres de gravité téléphoniques de communes de banlieue donnent la valeur maximum, exprimée en ohms, de la résistance des lignes d'abonnées reliées au bureau central qui dessert la commune. Exemple : « Vitry 320ω » signifie que les abonnés de Vitry les plus éloignés du bureau d'Ivry-centre (bureau le plus voisin) y sont reliés par des lignes d'une résistance de 320 ohms.

ment ce problème complexe. A une échelle déterminée, dans laquelle une unité naturelle de transmission est par exemple représentée par une longueur de 10 centimètres, on établit un premier *diagramme de transmission* sur lequel les quatre centres principaux de jonction sont représentés par des points dont les distances respectives sont égales aux équivalents de transmission des lignes auxiliaires de la meilleure efficacité prévues pour relier effectivement ces centres deux à deux.

D'autre part, pour chacun des bureaux de la région parisienne (ville et banlieue) on trace, *à la même échelle*, 4 segments ayant comme origine commune le centre de jonction auquel le bureau considéré est relié et comme longueurs respectives les équivalents de transmission totaux des quatre types de liaisons prévues entre un abonné quelconque dudit bureau et ce centre de jonction : liaisons par lignes de départ de gros ou de petit diamètre et liaisons par lignes d'arrivée de gros ou de petit diamètre.

Les équivalents de transmission totaux dont il s'agit ici comprennent : *a*) les pertes de transmission dues à la ligne d'abonné, qui sont connues puisqu'on a déterminé pour chaque bureau la résistance maximum des lignes d'abonnés reliées au bureau considéré, et qui sont d'ailleurs différentes au départ (équivalent à la transmission de ladite ligne d'abonné) et à l'arrivée (équivalent à la réception de ladite ligne d'abonné) ; *b*) les pertes de transmission dans les organes et le câblage du bureau central (soit 0,1 unité naturelle environ) ; *c*) équivalent de transmission du type de ligne auxiliaire prévu dans chacun des quatre modes de liaisons envisagées ; *d*) pertes de transmission dans les organes et le câblage du centre de jonction principal considéré (soit 0,1 unité naturelle environ). On suppose que les différents tronçons des liaisons ainsi réalisées sont bien adaptés les uns aux autres, de sorte qu'on n'a pas à prendre en considération les pertes par réflexion aux jonctions ; dans le cas contraire, il faudrait tenir compte de ces pertes lorsque l'on trace les quatre segments correspondant à chacun des bureaux considérés sur le « diagramme de transmission ».

Ce diagramme ainsi établi, d'après les hypothèses qui constituent en somme un avant-projet de réseau urbain, on se procure un cordonnet souple dont la longueur est égale, à l'échelle choisie, au standard de transmission maximum admis pour les conversations urbaines entre deux abonnés quelconques de la région parisienne.

On plante alors sur le diagramme de transmission des épingles aux quatre centres de jonction principaux. En disposant le cordonnet autour de ces épingles entre un des quatre points correspondant à un bureau quelconque et l'un des quatre points correspondant à un autre bureau quelconque, suivant la voie prévue pour l'écoulement du trafic entre ces deux bureaux, on peut s'assurer facilement de proche en proche que toutes les communications urbaines entre abonnés reliés à des bureaux quelconques de la région parisienne satisferont au standard de transmission adopté. Si pour quelques communications urbaines particulières on reconnaît qu'il n'en est pas ainsi, il y a lieu de réduire en conséquence l'affaiblissement des lignes auxiliaires d'un des faisceaux intéressés, c'est-à-dire de revenir sur certaines hypothèses faites ou en d'autres termes de modifier l'avant-projet du réseau.

Un second diagramme de transmission analogue, sur lequel figure cette fois le bureau central interurbain, ainsi que les centres de jonction principaux et les bureaux urbains (reliés par lignes intermédiaires directes) permet également de vérifier d'une manière graphique très commode, que, pour un abonné quelconque de la région parisienne, le standard de transmission prévu pour les communications interurbaines pourra être obtenu avec le réseau projeté.

Dans ces études graphiques il ne faut pas naturellement se borner aux abonnés ne possédant qu'un simple poste principal relié directement au bureau central qui les dessert ; il faut également (et surtout) se préoccuper des abonnés dont les installations plus complexes comportent des standards manuels ou des commutateurs automatiques. Dans ce cas il faut évidemment comprendre dans les pertes de la ligne d'abonné (à la transmis-

sion et à la réception) les équivalents des organes et câblages de ces installations d'abonnés.

De proche en proche, on finit par trouver ainsi la constitution la plus économique des diverses portions du réseau urbain à établir. Parfois on est amené à améliorer la transmission prévue entre deux points, soit en pupinisant les lignes auxiliaires, soit en adoptant un conducteur de plus gros diamètre pour les réaliser. Lorsqu'on envisage la pupinisation d'une ligne auxiliaire, il ne faut pas perdre de vue que cette pupinisation augmente l'impédance de cette ligne et par suite peut introduire des réflexions, d'où des pertes supplémentaires en cas de jonction directe avec les appareils d'abonnés. Il y a lieu de prévoir des dispositions qui atténuent ces pertes par réflexion : en pratique, l'interposition d'une ligne d'abonné de longueur suffisante diminue considérablement de telles réflexions à la jonction entre une ligne pupinisée et un appareil d'abonné ; mais si la ligne d'abonné est courte, il y a lieu de disposer la première bobine de pupinisation sur la ligne auxiliaire un peu en avant de l'emplacement théorique, afin de ménager une impédance de jonction intermédiaire.

Des études graphiques de ce genre, effectuées pour la région parisienne en partant de la carte de la figure 12, permettent de vérifier que l'emploi des conducteurs prévus dans l'annexe 3 ci-joint procurerait à tous les abonnés présents ou futurs de la région parisienne les standards de transmission que nous avons admis, pour fixer les idées, au début de cet article, à savoir : 2,5 pour les communications urbaines et 0,9 pour les communications interurbaines.

ANNEXE 1.

STATISTIQUES TÉLÉPHONIQUES COMPARÉES DES PRINCIPALES VILLES DU MONDE.

(*1er janvier 1923.*)

Pays et Villes	Population totale	Nombre de téléphones	°/° par rapport à la population
Allemagne :			
Berlin	3.842.000	357.062	9,3
Brême	273.000	22.361	8,2

Pays et Villes	Population totale	Nombre de téléphones	°/₀ par rapport à la population
Breslau	533.000	31.168	5,8
Chemnitz	307.000	16.442	5,4
Cologne	640.000	41.748	6,5
Dresden	594.000	38.437	6,5
Dusseldorf	411.000	29.657	7,2
Essen	443.000	17.441	3,9
Franckfort-sur-le Main	437.000	40.622	9,3
Hambourg-Altona	1.167.000	113.882	9,8
Hanovre	397.000	25.116	6,3
Leipzig	610.000	46.918	7,7
Magdebourg	289.000	16.057	5,6
Munich	637.000	50.005	7,9
Nuremberg	357.000	25.354	7,1
Stuttgart	312.000	27.366	8,8
Argentine :			
Buenos-Ayres	1.720.000	76.186	4,4
Australie :			
Adélaïde	270.000	18.228	6,7
Brisbane	230.000	14.300	6,2
Melbourne	817.000	54.081	6,6
Sydney	956.000	66.545	7,0
Autriche :			
Gratz	160.000	5.600	3,5
Vienne	1.860.000	86.000	4,6
Belgique :			
Anvers	468.000	14.794	3,2
Bruxelles	872.000	33.479	3,8
Gand	279.000	3.212	1,6
Liège	301.000	7.248	2,4
Canada :			
Montréal	892.000	92.376	10,4
Toronto	583.000	112.217	19,2
Chine :			
Canton	909.000	2.570	0,3
Shanghaï	1.515.000	18.351	1,2
Tien-tsin	808.000	7.062	0,9
Pékin	1.313.000	32.000 (*)	2,5
Cuba :			
Havane	465.000	30.436	6,5
Dantzig (Ville libre de)	365.000	13.075	3,6
Danemark :			
Copenhague	729.000	105.851	14,5
France :			
Bordeaux	270.000	8.700	3,2

Pays et Villes	Population agglomérée	Nombre de téléphones	°/o par rapport à la population
Lille	203.000	5.600	2,8
Lyon	568.000	12.000	2,1
Marseille	592.000	13.000	2,2
Paris	2.935.000	185.000	6,3
Grande-Bretagne et Irlande :			
Belfast	418.000	9.500	2,3
Birmingham	1.298.000	29.588	2,3
Blackburn	254.000	5.338	2,1
Bolton	285.000	5.414	1,9
Bradford	383.000	13.246	3,5
Bristol	413.000	10.780	2,6
Edimbourg	428.000	17.353	4,1
Glasgow	1.285.000	44.128	3,4
Hull	331.000	13.872	4,2
Leeds	547.000	14.308	2,6
Liverpool	1.214.000	40.700	3,4
London	7.210.000	364.494	5,1
Manchester	1.623.000	51.644	3,2
Newcastle	609.000	14.525	2,4
Nottingham	341.000	10.022	2,9
Sheffield	515.080	12.618	2,5
Dublin	395.000	12.000	3,0
Hongrie :			
Budapest	935.000	44.095	4,7
Italie :			
Florence	249.000	4.684	1,9
Gênes	302.000	8.105	2,7
Milan	707.000	17.258	2,4
Naples	777.000	6.437	0,8
Palerme	404.000	2.515	0,6
Rome	642.000	14.164	2,2
Turin	504.000	7.545	1,5
Japon :			
Kobe	643.000	19.700	3,1
Kioto	619.000	18.700	3,0
Nagoya	623.000	15.800	2,5
Osaka	1.309.000	61.500	4,7
Tokio	2.327.000	108.700	4,7
Yokohama	435.000	13.000	3,0
Norvège :			
Bergen	96.000	8.662	9,0
Oslö	260.000	32.441	12,5
Pays-Bas :			
Amsterdam	696.000	33.768	4,8

Pays et Villes	Population totale	Nombre de téléphones	% par rapport à la population
La Haye	366.000	25.706	7,0
Rotterdam	532.000	26.690	5,0
Roumanie :			
Bucarest	353.000	9.000	2,5
Russie :			
Kharkov	310.000	2.096	0,7
Leningrad	1.071.000	8.966	0,8
Moscou	1.511.000	24.950	1,7
Odessa	317.000	777	0,2
Suède :			
Götenborg	228.000	25.234	11,1
Malmö	115.000	12.958	11,3
Stockholm	425.000	107.979	25,4
Suisse :			
Bâle	137.000	12.538	9,1
Berne	103.000	10.703	10,4
Genève	134.000	14.189	10,6
Zurich	199.000	21.583	10,8
Tchécoslovaquie :			
Prague	683.000	22.296	3,3
Yougoslavie :			
Belgrade	113.000	3.200	2,8
États-Unis (Bell Syetem) :			
New-York	5.883.700	1.072.632	9,5
Chicago Ill	2.858.200	638.650	5,5
(*) Philadelphie Pa	1.906.100	252.475	8,3
Boston, Mass	1.628.800	340.352	8,6
Detroit, Mich	1.161.600	168.950	9,7
Cleveland O	1.001.100	158.306	2,8
(*) St-Louis, Mo	952.500	118.462	9,5
Montréal Mo	891.900	92.376	10,1
Pittsburg Pa	887.500	141.208	9,1
Los Angelès Cal	883.000	189.458	16,9
Baltimore, Cal	788.000	98.071	6,3
San-Francisco Cal	686.500	172.742	6,3
Jersey-City, N. J	614.300	47.573	11,9
Cincinnati O	591.900	109.206	6,8
Toronto Ont	583.400	112.211	10,6
Buffalo N. Y	565.100	78.369	7,4
Milwaukee Wis	563.400	94.034	6,0
Newark NJ	519.000	60.627	12,2
New-Orleans, La	453.900	41.349	7,9
Washington	451.500	103.085	7,3
Minneapolis, Minn	420.000	101.529	5,6

Pays et Villes	Population agglomérée	Nombre de téléphones	°/° par rapport à la population
Providence RI...............	304.800	54.606	10,2
(*) Louisville Ky...............	292.100	20.076	6,9
(*) Wilkes-Barre Pa...........	206.800	16.278	14,9
Memphis Tenn.............	202.700	27.995	9,0
Dallas Tex.................	201.500	44.381	10,7

ANNEXE 2.

Qualités que doit présenter un bon appareil téléphonique d'abonné.

Dans l'étude électrique des appareils d'abonnés, on doit se préoccuper des points de vue suivants :

En premier lieu, l'*efficacité*.

Pour qu'un appareil d'abonné puisse constituer un type digne d'être répandu exclusivement dans tout le réseau téléphonique, aussi bien dans les installations automatiques que dans les installations manuelles, il faut que son efficacité, tant à la transmission qu'à la réception, soit 1° *grande* et 2° *constante*.

Ce qu'on doit considérer, c'est l'*efficacité totale*, c'est-à-dire la somme de l'efficacité à la transmission et de l'efficacité à la réception, puisque lorsqu'un type d'appareil a été définitivement admis, c'est toujours deux appareils de ce type qui sont placés aux extrémités d'une communication téléphonique quelconque.

Si un type d'appareil donne une transmission ou une réception qui laisse à désirer, il en résulte que l'on doit, pour assurer à toutes les communications une qualité suffisante, regagner la perte due à l'infériorité de l'appareil en employant une quantité de cuivre plus grande dans l'ensemble du réseau afin de diminuer l'affaiblissement des lignes.

Par exemple, supposons que la perte combinée due à l'emploi d'un microphone et d'un récepteur d'un certain type

(*) Non compris les abonnés desservis par la Compagnie indépendante locale.

soit égale à 0,4 environ (4 miles de câble standard) ; on peut penser dans une communication interurbaine regagner cette perte soit dans les lignes d'abonnés, soit dans les lignes de jonction entre le bureau local et le bureau interurbain, soit dans les circuits interurbains.

Il est clair que la dépense entraînée par cette amélioration de ligne doit être imputée à l'emploi des mauvais appareils choisis.

a) Supposons que la perte doit être regagnée dans les lignes d'abonnés. Les calculs montrent que pour rattraper cette perte de transmission, il faudra employer du fil de $0^{mm},8$, au lieu de fil de $0^{mm},65$ pour les lignes inférieures à 4 kilomètres, et du fil de $1^{mm},1$ au lieu de fil de $0^{mm},91$ pour les lignes d'abonnés comprises entre 4 et 7 kilomètres, ce qui entraîne une augmentation de cuivre par kilomètre d'environ $6^{kg},3$ dans le premier cas et $27^{kg},2$ dans le second cas. Si nous supposons que 80 % des lignes ont une longueur moindre de 4 kilomètres et 20 % une longueur comprise entre 4 et 7 kilomètres, si nous supposons également que la longueur moyenne des premières est 4 kilomètres et la longueur moyenne des autres 5 kilomètres, il en résulte qu'en moyenne une augmentation d'environ $10^{kg},5$ du poids de cuivre sera nécessaire par ligne d'abonné pour regagner la perte due à l'infériorité des appareils. Si le cuivre coûte 5 francs le kilogramme, cela représente une dépense par poste d'abonné de 53 francs. Dans un réseau de 300.000 abonnés, l'augmentation de dépense totale pour le cuivre serait de 15.300.000 francs. Ce chiffre doit être augmenté pour tenir compte des frais de pose qui sont plus grands lorsque les câbles de réseau sont plus gros, etc...

b) Il n'est pas possible de réduire suffisamment les pertes dans les lignes auxiliaires entre le bureau local et le bureau interurbain, pour rattraper la perte de 0,4 unités naturelles dans l'efficacité des appareils.

c) Supposons enfin que la perte due à l'emploi de mauvais appareils doive être regagnée dans les lignes interurbaines. Dans ce cas, au lieu d'avoir un circuit interurbain d'affaiblisse-

ment 1,2 (équivalent de transmission de 11 miles de câble standard par exemple), ce qui est un nombre usuel, il faudra réaliser un circuit d'affaiblissement 1,2 — 0,4 = 0,8 (soit environ 7 miles de câble standard).

Supposons qu'il s'agisse d'un réseau de 130.000 kilomètres de longueur totale, constitué par des lignes en fil de cuivre aérien, sans bobines Pupin et sans relais téléphoniques.

Supposons que 70 % de ces lignes ont une longueur moyenne de 200 kilomètres et 30 % une longueur moyenne de 500 kilomètres. Quelle serait dans ce cas la quantité de cuivre nécessaire pour compenser la perte due à l'infériorité des appareils d'abonnés ?

Il est évident qu'il faudra ajouter au prix de cette quantité de cuivre les frais supplémentaires pour les poteaux et accessoires nécessités par l'emploi de fils plus lourds. Pour les lignes de 200 kilomètres, on obtiendra des affaiblissements voisins de 0,8 et 1,2 respectivement avec du fil de 3^{mm} et de $2^{mm},25$ de diamètre, ce qui correspond à des poids de cuivre respectifs de 25.100 et de 14.150 kilos. Pour des lignes de 500 kilomètres, on obtiendra ces mêmes équivalents de transmission en employant des fils de $5^{mm},5$ et de 4^{mm} de diamètre, ce qui correspond à des poids de cuivre respectivement de 211.000 et 111.700 kilos.

L'augmentation de dépense en cuivre est donc pour une ligne courte de 10.950 kilos, soit à 5 francs le kilogramme 54.800 francs et pour une ligne longue de 99.300 kilos, soit à 5 francs le kilogramme 497.000 francs.

Si l'on suppose que le réseau total comprend 314 lignes de 200 kilomètres et 134 lignes de 500 kilomètres, la dépense supplémentaire totale en cuivre serait de 84 millions de francs.

Si le nombre des lignes d'abonnés est de 300.000, l'augmentation totale de dépense par poste qui doit être imputée à l'infériorité des appareils d'abonnés est donc de 84 millions divisés par 300.000, soit 280 francs.

Dans le cas plus compliqué où les lignes à grande distance comportent des bobines Pupin et des relais téléphoniques, l'aug-

mentation de dépenses par poste d'abonné aurait été moindre, mais resterait probablement supérieure à 50 francs.

La conclusion est, en tout cas, la même : l'emploi d'appareils d'efficacité inférieure est toujours très onéreux.

Si, au contraire, on emploie des appareils dont l'efficacité à la transmission et à la réception est excellente, on peut réaliser des économies importantes sur les autres parties du réseau et notamment sur les lignes d'abonnés et sur les circuits interurbains tout en assurant un service téléphonique satisfaisant au point de vue commercial.

Les pertes dues aux appareils d'abonnés sont donc toujours une cause de dépenses qui pourrait être évitée et qui doit être évitée [1].

Mais il ne suffit pas que le type d'appareil d'abonné choisi ait une bonne efficacité, il faut encore que cette efficacité reste constante. Il est, en effet, impossible de certifier *a priori* qu'avec des lignes et des installations de bureaux dont les équivalents de transmission sont parfaitement déterminés et satisfaisants, il sera possible de faire communiquer commercialement deux abonnés quelconques si l'on n'est pas sûr à l'avance de disposer dans le microphone de l'abonné qui parle d'une puissance électrique suffisante, et dans le récepteur de l'abonné qui écoute d'un rendement électroacoustique suffisant.

Il convient par conséquent, non seulement que tous les appareils d'abonnés soient semblables entre eux, au point de vue de l'efficacité de transmission et de réception, lorsqu'ils sont placés dans des conditions géométriques et électriques déterminées et comparées à un appareil étalon déterminé (ce qui est le cas dans les essais d'efficacité et ce dont il est toujours possible de s'assurer au service de la vérification du matériel

(1) Il ne faut pas pousser cette conclusion à l'extrême et songer par exemple à utiliser des amplificateurs chez les abonnés pour obtenir des postes d'une efficacité de transmission énormément accrue. En effet, les câblages des installations de bureaux téléphoniques et les câbles de réseaux urbains qui contiennent les lignes d'abonnés ne sont pas parfaitement antiinductes et l'utilisation de microphones de puissance excessive provoquerait des mélanges de conversation.

avant le poinçonnage des appareils), mais il faut aussi qu'un même appareil d'abonné garde une efficacité à peu près constante lorsqu'il est placé dans toutes les positions géométriques possibles que l'abonné est susceptible de lui donner (notamment en ce qui concerne l'orientation du microphone par rapport au plan vertical et la distance raisonnable du microphone à la bouche).

Si un appareil d'abonné comporte des pièces amovibles et interchangeables, et en particulier, une capsule microphonique amovible, il faut que l'efficacité se conserve lorsqu'on remplace une de ces pièces interchangeables par une pièce analogue, prise au hasard dans un lot accepté.

Enfin, dernière remarque concernant l'efficacité : parmi les deux composantes de l'efficacité totale d'un poste d'abonné, il y a lieu de considérer, comme plus importante que l'autre, l'efficacité à la transmission, car lorsque cette efficacité à la transmission est grande, les bruits provenant de la ligne sont relativement moins gênants. Par conséquent, de deux postes qui, toutes choses égales d'ailleurs, ont la même efficacité totale, il vaut mieux préférer celui qui a la plus grande efficacité à la transmission.

Les conditions d'efficacité à la transmission et à la réception étant satisfaisantes, il faut s'assurer encore que d'autres conditions importantes le sont.

En premier lieu, il est nécessaire que le microphone ne brûle pas d'une manière appréciable. Un microphone très apte à brûler non seulement cause un bruit de friture qui peut rendre toute conversation impossible, mais encore peut provoquer une fusion partielle du charbon du microphone lorsque l'appareil reste longtemps décroché, ce qui aboutit finalement à une rupture du circuit microphonique, d'où, dans les installations à batterie centrale, non seulement mise hors de service du poste d'abonné, mais aussi troubles de fonctionnement au bureau central où la lampe d'appel reste toujours éteinte.

Enfin un poste téléphonique à microtéléphone combiné, ne doit pas présenter d'aptitude marquée à l'effet de Larsen.

Lorsqu'un microtéléphone est en effet près de la limite au delà de laquelle un sifflement se produirait par amorçage d'oscillations entre le récepteur et le microphone, il donne certainement une transmission peu intelligible. D'autre part, comme l'efficacité des appareils entre en jeu dans le circuit des oscillations, les tendances aux sifflements d'un microtéléphone limitent l'efficacité qu'il serait possible d'obtenir.

TABLEAU
des constantes électriques des conducteurs à utiliser dans la région parisienne pour lignes d'abonnés et pour lignes auxiliaires.

		Diamètre en mm.	Affaiblissement kilométrique.	Impédance caractéristique.
Câbles pour lignes d'abonnés.		5/10	$\beta = 0{,}1330$	$940^{\Omega}\ \overline{\vert 45^{\circ}}$
		6/10	$\beta = 0{,}1100$	$785^{\Omega}\ \overline{\vert 44^{\circ}}$
		10/10	$\beta = 0{,}0665$	$470^{\Omega}\ \overline{\vert 43^{\circ}}$
Câbles pour lignes auxiliaires.	1° Service direct entre 2 bureaux situés à l'intérieur de Paris et reliés directement entre eux eu égard à l'importance de leur trafic.	6/10	$\beta = 0{,}1100$	$785^{\Omega}\ \overline{\vert 44^{\circ}}$
		10/10	$\beta = 0{,}0665$	$470^{\Omega}\ \overline{\vert 43^{\circ}}$
	2° Service local entre un bureau et son centre de jonction ou service entre deux bureaux en transit par un seul centre de jonction.	10/10	$\beta = 0{,}0665$	$470^{\Omega}\ \overline{\vert 43^{\circ}}$
	3° Service de transit par centres de jonction et service interurbain.	10/10	$\beta = 0{,}0665$	$470^{\Omega}\ \overline{\vert 43^{\circ}}$
		10/10 chargé	$\beta = 0{,}0350$	$650^{\Omega}\ \overline{\vert 10^{\circ}}$
		12/10 chargé	$\beta = 0{,}0246$	$650^{\Omega}\ \overline{\vert 8^{\circ}}$

Note. — Dans la région parisienne, les lignes auxiliaires seront toujours souterraines et les lignes d'abonnés ne comprendront une portion aérienne (bronze de 11/10 ou 15/10 de millimètre) que pour certains abonnés de banlieue. Cette portion de ligne aérienne, au point de vue de la transmission, n'intervient en fait que par sa résistance (d'ailleurs relativement faible), qui influe sur la réduction du courant d'alimentation microphonique.

PROPAGATION DE LA PUISSANCE ACTIVE ET RÉACTIVE,

Par J.-B. POMEY,
Inspecteur général des Postes et Télégraphes.

Je considère une ligne à double fil et je vais établir les équations qui régissent la propagation de la puissance active W_a, et de la puissance réactive W_r et je donnerai une image du mécanisme de leurs variations.

Je partirai des équations bien connues de la propagation. J'emploierai les notations suivantes :

v, tension entre les deux fils à la distance x de l'origine et à l'époque t ;

i, intensité à la même distance et à la même époque.

Les constantes ρ, σ, λ, γ sont rapportées à l'unité de longueur du circuit ; ρ est la somme des résistances des deux fils ; σ, la perte due à une dérivation du courant d'un fil à l'autre ; λ, l'inductance ; γ, la capacité d'un fil par rapport à l'autre.

Les équations du mouvement de l'électricité sont les suivantes :

$$-\frac{\partial v}{\partial x} = \rho i + \lambda \frac{\partial i}{\partial t}, \tag{1}$$

$$-\frac{\partial i}{\partial x} = \sigma v + \gamma \frac{\partial v}{\partial t}, \tag{2}$$

Nous supposerons qu'un régime périodique permanent se soit établi, tout le long de la ligne, ce qui est le cas du courant alternatif industriel, de fréquence f déterminée, en service normal.

Si un pareil régime est compatible avec les équations (1) et (2), le courant et la tension ayant des expressions harmoniques simples, on devra pouvoir y satisfaire en posant :

$$\begin{aligned} i &= \sqrt{2}\, \mathrm{I} \cos(\omega t + \alpha) \\ v &= \sqrt{2}\, \mathrm{V} \cos(\omega t + \beta) \end{aligned} \tag{3}$$

le facteur $\sqrt{2}$ étant introduit pour mettre en évidence les valeurs efficaces I et V du courant et de la tension, de préférence à leurs valeurs maxima I_0 et V_0.

$$(4) \qquad I_0 = \sqrt{2}\, I, \qquad V_0 = \sqrt{2}\, V.$$

Dans ces équations (I, α; V, β) sont quatre quantités bien déterminées en chaque point de la ligne, autrement dit ce sont des fonctions de x, indépendantes du temps.

En développant les expressions de i et de v, on pourra écrire :

$$(5) \qquad \begin{aligned} i &= \sqrt{2}\, I_1 \cos \omega t - \sqrt{2}\, I_2 \sin \omega t \\ v &= \sqrt{2}\, V_1 \cos \omega t - \sqrt{2}\, V_2 \sin \omega t \end{aligned}$$

en posant :

$$(6) \qquad \begin{aligned} I_1 &= I \cos \alpha, \qquad V_1 = V \cos \beta, \\ I_2 &= I \sin \alpha, \qquad V_2 = V \sin \beta. \end{aligned}$$

La quantité ω s'appelle la pulsation, elle est liée à la période T par la relation évidente :

$$(7) \qquad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

et, comme la période est aussi l'inverse de la fréquence f, on a également

$$\omega = 2\pi f.$$

Les quantités périodiques (i, v) peuvent se représenter géométriquement par des vecteurs, comme l'a montré Fresnel. Prenons dans un plan deux axes rectangulaires ox et oy et portons à partir de l'origine un vecteur de longueur 1 faisant un angle α avec ox, nous aurons la représentation géométrique de i au facteur $\sqrt{2}$ près ; portons de même un vecteur V à partir de l'origine dans la direction inclinée sur ox d'un angle β, nous aurons la représentation de v, au facteur $\sqrt{2}$ près. Il suffit, pour cela, de faire tourner le système invariable (I, V) avec la vitesse angulaire ω autour de 0, à partir de l'époque $t = o$.

L'expression $\omega t + \alpha$ est la phase du courant, α est sa phase à l'origine du temps ; l'expression $\omega t + \beta$ est la phase de la tension, β est sa phase à l'origine du temps.

On peut envisager les vecteurs comme représentant i et v à l'origine des temps, parce que leurs projections sur l'axe des x sont I_1 et V_1. Mais si l'on fait tourner la figure autour de l'origine avec la vitesse angulaire ω, les projections des vecteurs considérés sur l'axe des x donneront à chaque instant les valeurs (à $\sqrt{2}$ près) de i et de v.

Le premier problème qui se pose, c'est de déterminer (I_1, I_2 ; V_1, V_2) en fonction de x. A cet effet, il suffit de reporter les expressions (5) dans les équations (1) et (2) et d'exprimer qu'elles sont satisfaites à chaque instant, en annulant les coefficients de $\cos \omega t$ et de $\sin \omega t$. On obtient ainsi les quatre équations suivantes qui sont des équations différentielles ordinaires où le temps ne figure plus :

$$(8) \qquad \begin{aligned} -\frac{dV_1}{dx} &= \rho I_1 - \omega\lambda I_2, \\ -\frac{dV_2}{dx} &= \omega\lambda I_1 + \rho I_2, \end{aligned}$$

$$(9) \qquad \begin{aligned} -\frac{dI_1}{dx} &= \sigma V_1 - \omega\gamma V_2, \\ -\frac{dI_2}{dx} &= \omega\gamma V_1 + \sigma V_2. \end{aligned}$$

Dérivons par rapport à x les deux équations (8) et remplaçons par leurs valeurs les dérivées de I_1, I_2, en les tirant des équations (9) nous obtenons :

$$(10) \qquad \begin{aligned} \frac{d^2V_1}{dx^2} &= (\rho\sigma - \omega^2\gamma\lambda)V_1 - \omega(\rho\gamma + \sigma\lambda)V_2 \\ \frac{d^2V_1}{dx^2} &= \omega(\rho\gamma + \sigma\lambda)V_1 + (\rho\sigma - \omega^2\gamma\lambda)V_2 \end{aligned}$$

équations qui peuvent se réduire en une seule :

$$\frac{d^2}{dx^2}(V_1 + V_2\sqrt{-1}) = (\rho + \omega\lambda\sqrt{-1})(\sigma + \omega\gamma\sqrt{-1}) \times \\ \times (V_1 + V_2\sqrt{-1}).$$

Une fois ces équations (10) intégrées, les deux premières équations (8) donneront algébriquement I_1 et I_2 en fonction de V_1 et V_2.

On voit que le problème sera entièrement déterminé, si l'on se donne, par exemple, les valeurs de V_1 et de V_2 à l'origine de la ligne et à son extrémité. On obtient ainsi des formules bien connues.

Mais nous voulons porter notre attention sur les puissances en jeu qui sont la puissance active et la puissance réactive et nous nous proposons de montrer qu'il y a entre elles des équations différentielles toutes semblables à celles qui régissent V_1 et V_2, de sorte que ces deux puissances seront parfaitement déterminées en tout point de la ligne, si l'on se donne leurs valeurs particulières à l'origine et à l'extrémité. Ces données sont cependant soumises à une condition de compatibilité, ainsi que nous le montrerons.

J'appelle W_a la puissance active et W_r la puissance réactive ; leur définition algébrique est la suivante :

$$W_a = IV\cos\varphi, \qquad W_r = IV\sin\varphi,$$

φ étant l'angle compris entre les vecteurs I et V.

Si nous faisons la convention que φ représente le décalage *en avant* du courant sur la tension, on a :

$$\varphi = \alpha - \beta \tag{11}$$

et

$$\begin{aligned} W_a &= I_1 V_1 + I_2 V_2 \\ W_r &= I_2 V_1 - I_1 V_2 \end{aligned} \tag{12}$$

et nous pouvons remarquer, en passant, que la puissance active représente le produit scalaire des vecteurs I, V, tandis que la puissance réactive est un déterminant qu'on peut appeler leur produit vectoriel, ce produit dépendant du sens choisi comme positif pour les rotations qui s'effectuent dans le plan des deux vecteurs. C'est la surface du parallélogramme construit sur I et V. M. Janet a fait remarquer que l'on a :

$$W_a + \sqrt{-1}\,W_r = (I_1 + I_2\sqrt{-1})(V_1 - V_2\sqrt{-1}).$$

relation où il y a lieu de faire attention au signe — qui y figure.

Notre but est d'établir les équations différentielles qui relient W_a et W_r.

Mais auparavant, examinons les phénomènes énergétiques qui ont leur siège dans la tranche dx. Il y a d'abord les dégagements de chaleur qui se font en conformité de la loi de Joule dans le conducteur, d'une part, et dans la perte latérale, d'autre part ; on a ainsi les quantités d'énergie calorifiques ci-après, rapportées à l'unité de longueur et à l'unité de temps :

$$\rho I^2 + \sigma V^2 \tag{13}$$

Il y a ensuite l'énergie réactive ; or la tranche considérée comporte trois branches : l'une comprend la réactance inductive $\lambda \omega dx$ et est parcourue par le courant I ; l'autre, qui correspond à la perte, n'a pas de réactance ; le troisième comprend la réactance de capacité due à la capacité élémentaire γdx soumise à tension V.

Or, si, d'une façon générale, le courant imaginaire $I_1 + I_2\sqrt{-1}$ traverse une branche dont la résistance opérateur est :

$$R + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)\sqrt{-1},$$

la tension entre les bornes est donnée par loi d'Ohm généralisée, ainsi que Kennelly l'a montré :

$$V_1 + V_2\sqrt{-1} = \left[R + \left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)\sqrt{-1}\right]\left(I_1 + I_2\sqrt{-1}\right). \tag{14}$$

Cette équation se décompose et donne :

$$\begin{cases} V_1 = RI_1 - \left(L\omega - \dfrac{1}{C\omega}\right)I_2, \\ V_2 = RI_2 + \left(L\omega - \dfrac{1}{C\omega}\right)I_1, \end{cases} \tag{15}$$

d'où :

$$I_2V_1 - V_2I_1 = -\left(L\omega - \frac{1}{C\omega}\right)\left(I_1^2 + I_2^2\right)$$

ou, en tenant compte des relations (9) et (12) :

$$W_r = -L\omega I^2 + \frac{1}{C\omega} I^2. \tag{16}$$

Mais, si U est la différence de potentiel efficace aux bornes du condensateur, on a, entre les valeurs efficaces U de la tension et I du courant, la relation :

$$U = \frac{1}{C\omega} I, \tag{17}$$

d'où :

$$\frac{1}{C\omega} I^2 = \omega C U^2, \tag{18}$$

et :

$$W_r = -L\omega I^2 + \omega C U^2, \tag{19}$$

Appliquons à notre cas cette formule générale, il viendra pour la puissance réactive de la tranche, rapportée à l'unité de longueur, l'expression :

$$\omega(-\lambda I^2 + \gamma V^2), \tag{20}$$

avec les notations qui se rapportent à la ligne considérée. Le premier terme est la puissance réactive dans l'inductance λ; le second terme est la puissance réactive dans la capacité formée par les deux fils, envisagés comme armatures d'un condensateur.

Revenons maintenant aux expressions de la puissance active et réactive. En dérivant les dernières formules (12), on a :

$$\frac{dW_a}{dx} = I_1 \frac{dV_1}{dx} + V_1 \frac{dI_1}{dx} + I_2 \frac{dV_2}{dx} + V_2 \frac{dI_2}{dx}. \tag{21}$$

Remplaçons les dérivées par leurs valeurs tirées des équations (8) à (9) ; il vient :

$$- \frac{dW_a}{dx} = I_1(\rho I_1 - \omega\lambda I_2) + V_1(\sigma V_1 - \omega\gamma V_2) + \tag{22}$$
$$+ I_2(\omega\lambda I_1 + \rho I_2) + V_2(\omega\gamma V_1 + \sigma V_2),$$

ou :

$$- \frac{dW_a}{dx} = \rho I^2 + \sigma V^2. \tag{23}$$

Ce résultat peut s'énoncer en disant que la diminution que la puissance active subit entre l'origine et l'extrémité de la tranche dx est égale à la puissance calorifique dégagée dans

cette tranche par l'effet de la résistance des conducteurs et de la perte.

Faisons les mêmes opérations sur la puissance réactive, nous obtenons :

$$(24) \qquad -\frac{dW_r}{dx} = \omega\,(-\lambda I^2 + \gamma V^2).$$

Ce résultat peut s'exprimer en disant que la perte subie par la puissance réactive en franchissant la tranche dx se retrouve en puissance réactive dans cette tranche, conformément à (20).

Les deux équations différentielles que nous venons d'écrire sont conformes au principe de la conservation de l'énergie et au principe analogue de M. Boucherot pour l'énergie réactive, et par suite, on aurait pu les écrire directement.

Les équations différentielles que je cherche à établir sont des équations entre W_a et W_r en fonction de x. Il faudrait donc savoir comment I^2 et V^2 se rattachent à ces puissances. Or, en combinant les équations (5) à (8), on obtient :

$$(25) \quad -\left(V_1\frac{dV_1}{dx} + V_2\frac{dV_2}{dx}\right) = V_1(\rho I_1 - \omega\lambda I_2) + V_2(\omega\lambda I_1 + \rho I_2),$$

ou :

$$(26) \quad -\frac{d}{dx}V^2 = \rho\,(I_1 V_1 + I_2 V_2) - \omega\lambda\,(I_2 V_1 - I_1 V_2),$$

où les quatre composantes du courant et de la tension ne figurent plus que dans des expressions algébriques qui représentent les puissances. On a donc :

$$(27) \qquad -\frac{d.V^2}{dx} = 2\rho W_a - 2\omega\lambda W_r.$$

On aurait, de même :

$$(28) \qquad -\frac{d.I^2}{dx} = 2\sigma W_a + 2\omega\gamma W_r.$$

Il est alors facile d'éliminer I^2 et V^2 entre les équations (23) et (24) d'une part et les equations (27) et (28) d'autre part. On obtient ainsi les équations cherchées.

$$(29) \qquad \frac{d^2 W_a}{dx^2} = 4\rho\sigma W_a + 2\omega(\rho\gamma - \sigma\lambda) W_r,$$



$$(30) \qquad \frac{d^2 W_r}{dx^2} = 2\omega(\rho\gamma - \sigma\lambda) W_a - 4\omega^2 \lambda\gamma W_r.$$

Tandis que i et v sont donnés par deux équations différentielles du premier ordre, W_a et W_r sont donnés par des équations du second ordre, comme V_1, V_2, d'après les équations (10).

Je vais maintenant donner une image mécanique de ce système.

Si je pose

$$W_a = y, \qquad W_r = z,$$
$$4\rho\sigma = a, \qquad -4\omega^2\lambda\gamma = a',$$
$$2\omega(\rho\gamma - \sigma\lambda) = b,$$

ces équations prennent la forme :

$$(31) \qquad y'' = ay + bz,$$
$$(32) \qquad z'' = by + a'z:$$

Puisque nous considérons ces équations comme celles d'un problème de mécanique, supposons que la variable x représente le temps ; il n'y a aucune confusion possible, puisque le temps a disparu dès le début des équations du problème de propagation électrique. On peut imaginer un observateur parcourant la ligne d'une vitesse uniforme égale à l'unité ; le système (31,32) figure les équations du mouvement d'une particule de masse égale à l'unité, dont les coordonnées rectangulaires seraient y et z. Elle se déplace dans le plan $(x = t)$ des (y, z), fixe par rapport à l'observateur. Quel est son mouvement dans ce plan ?

L'énergie cinétique est

$$(33) \qquad T = \frac{1}{2}(y'^2 + z'^2).$$

La fonction de forces est

$$(34) \qquad U = \frac{1}{2} ay^2 + byz + \frac{1}{2} a' z^2.$$

En coordonnées rectangulaires le point (U, y, z) décrit une surface du second degré ; U est la distance du point au plan des y, z ; et si ce plan est horizontal et que la masse du point soit égale à l'unité, U représente l'énergie potentielle de ce point matériel. On peut imaginer que ce point soit pesant, et qu'il

soit assujetti à se mouvoir sans frottement sur la surface du second degré représentée par l'équation (34) entre sa cote U et les coordonnées (y, z) de sa projection horizontale.

Quand on donne à U une valeur constante, l'équation (34) représente, pour les diverses valeurs de cette constante, une famille de coniques concentriques et homothétiques. On simplifiera donc le système d'équations en rapportant ces coniques à leurs axes communs O Y, O Z. Soient (Y, Z) les nouvelles coordonnées de la particule, ψ l'angle dont il faut faire tourner les axes de coordonnées pour les amener en coïncidence avec les axes principaux des coniques considérées ; on a :

$$\text{(35)} \qquad \operatorname{tg} 2\psi = \frac{2b}{a - a'} = \omega \frac{\rho\gamma - \sigma\lambda}{\rho\sigma + \omega^2\lambda\gamma},$$

Si l'on pose :

$$\operatorname{tg} \varphi_1 = -\frac{\omega\lambda}{\rho},$$

$$\operatorname{tg} \varphi_2 = \frac{\omega\gamma}{\sigma},$$

on aura :

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \operatorname{tg}(\varphi_2 + \varphi_1).$$

On voit donc que les axes sont dirigés suivant bissectrices des deux directions déterminées par les angles φ_1 et φ_2.
et le changement de coordonnées donne :

$$\text{(36)} \qquad \begin{aligned} Y &= y\cos\psi + z\sin\psi, \\ Z &= -y\sin\psi + z\cos\psi. \end{aligned}$$

Les équations deviennent alors plus simples, parce qu'elles se décomposent en deux équations indépendantes, ainsi que nous le verrons (formules 47).
L'énergie cinétique reste de même forme qu'auparavant :

$$\text{(37)} \qquad T = \frac{1}{2}(Y'^2 + Z'^2).$$

La fonction de force devient une somme de deux carrés :

$$\text{(38)} \qquad U = \frac{1}{2} s_1^2 Y^2 + \frac{1}{2} s_2^2 Z^2,$$

en appelant s_1^2 et s_2^2 les inverses des carrés des deux demi-axes de la conique (34) pour $U = \frac{1}{2}$; mais comme a' est négatif, il y a une de ces deux quantités qui est négative ; par exemple, nous supposerons s_1 réel et s_2 purement imaginaire ; alors OY sera l'axe réel, OZ l'axe transverse.

L'équation qui donne s_1^2 et s_2^2 est l'équation bicarrée :

$$(39) \qquad (a - s^2)(a' - s^2) - b^2 = o.$$

C'est d'ailleurs l'équation caractéristique du système (31), (32) obtenue en cherchant une solution isochrone

$$y = A e^{sx}, \qquad z = B e^{sx}$$

et écrivant la condition de compatibilité entre les deux équations obtenues pour la détermination du rapport des constantes A et B.

Je dis que s peut se mettre sous la forme $\pm\sqrt{s'} \pm \sqrt{s''}$. En effet, de l'équation

$$s = \pm\sqrt{s'} \pm \sqrt{s''},$$

on tire, en faisant disparaître les radicaux, l'équation bicarrée :

$$(40) \qquad s^4 - 2(s' + s'')s^2 + (s' - s'')^2 = o,$$

et il suffit de montrer qu'on peut identifier cette équation avec l'équation caractéristique (39), que je récris sous la forme :

$$(39) \qquad s^4 - (a + a')s^2 + aa' - b^2 = o.$$

Les valeurs de coefficients sont données par les relations :

$$(40) \qquad a + a' = + 4(\sigma\rho - \omega^2\lambda\gamma),$$

$$(41) \qquad b = 2\omega(\rho\gamma - \sigma\lambda),$$

$$(42) \qquad aa' - b^2 = - 4\,\sigma\rho\,4\,\omega^2\lambda\gamma - 4\omega^2(\rho\gamma - \sigma\lambda)^2,$$
$$a'a' - b^2 = - 4\,\omega^2(\rho\gamma + \sigma\lambda)^2.$$

On écrira donc, pour effectuer l'identification

$$(43) \qquad s' + s'' = 2(\sigma\rho - \omega^2\lambda\gamma),$$
$$s' - s'' = \pm 2\omega(\rho\gamma + \sigma\lambda)\sqrt{-1},$$

d'où :

$$(44) \qquad \left.\begin{matrix} s' \\ s'' \end{matrix}\right\} = (\sigma \pm \gamma\omega\sqrt{-1})(\rho \pm \lambda\omega\sqrt{-1}),$$

les signes + se correspondent, de même les signes —.

Posons, d'après Pupin :

$$(45)\quad (\rho + \lambda\omega\sqrt{-1})(\sigma + \gamma\omega\sqrt{-1}) = (\beta + \alpha\sqrt{-1})^2;$$

on aura, pour les quatre valeurs de s :

$$(46)\qquad s = \begin{cases} \pm 2\beta, & s_2{}^2 = -4\alpha^2, \\ \pm 2\alpha\sqrt{-1}, & s_1{}^2 = +4\beta^2. \end{cases}$$

On reconnaît en β la constante d'atténuation, en α la constante de longueur d'onde, en $\beta + \alpha\sqrt{-1}$ la constante de propagation. (Ces constantes n'ont rien de commun avec les angles de phase α et β envisagés plus haut.)

Les équations du mouvement de la particule deviennent :

$$(47)\qquad Y'' = 4\beta^2 Y, \qquad Z'' = -4\alpha^2 Z.$$

Les variables Y et Z portent, en mécanique, le nom de variables normales. On voit que les variables sont séparées.

La loi d'amortissement en $e^{-2\beta x}$ se rapporte donc à Y et non à W_a, comme on l'admet toujours, à tort.

L'intégration est immédiate.

Supposons, par exemple, qu'on se donne les valeurs de la puissance active et réactive aux deux bouts de la ligne ; on en déduira les valeurs Y_0, Z_0 de Y et Z pour $x = o$ et les valeurs Y_1, Z_1 de ces mêmes quantités pour $x = l$, et l'on aura :

$$(48)\qquad \begin{aligned} \operatorname{sh} 2\beta l . Y &= Y_0 \operatorname{sh} 2\beta(l - x) + Y_1 \operatorname{sh} 2\beta x. \\ \sin 2\alpha l . Z &= Z_0 \sin 2\alpha(l - x) + Z_1 \sin 2\alpha x, \end{aligned}$$

Si l'on considère toujours x comme le temps, le terme

$$Z_1 \sin 2\alpha x$$

représente la projection, sur un axe, d'un mouvement circulaire uniforme. Dans ce mouvement autour de l'origine, le rayon vecteur balaye des aires égales dans des temps égaux.

De même le terme

$$Y_1 \operatorname{sh} 2\beta x$$

représente la projection, sur un axe, d'un mouvement qui se fait sur une hyperbole équilatère ayant pour centre l'origine, le rayon vecteur étant assujetti à balayer des aires égales dans des temps égaux.

Aussi bien Y que Z sont la somme d'un terme en x et d'un terme en $l - x$; le terme en x représente une onde directe, le terme en $l - x$ une onde rétrograde ; pour Y les ondes ont une forme sinuosïdale, pour Z une forme exponentielle ; les unes sont périodiques, les autres amorties. Pour avoir W_a et W_r, les puissances actives et réactives, il faut projeter le point (Y, Z) sur les axes (oy', oz) qui font un angle $-\psi$ avec les premiers (oy, oz).

Si s_1^2 et s_2^2 étaient tous deux positifs, le problème mécanique serait celui des petits mouvements projetés d'un élément matériel pesant sur une surface lisse autour du point le plus bas ; mais comme s_2^2 est une quantité négative, il s'agit ici du mouvement auprès d'un col.

Les deux vitesses aréolaires considérées sont respectivement égales à 2α est 2β.

La variation du décalage φ est donnée par la relation en termes finis :

$$\text{(49)} \qquad \operatorname{tg} \varphi = \frac{W_r}{W_a}.$$

Quant aux vitesses angulaires des vecteurs, courant et tension (x représentant le temps, dans notre image), elles sont données par les équations de définition, dérivées par rapport à x. On a, d'après (12) pour définir les angles de phase que nous avons appelés α et β, au début de cette étude :

$$\text{(50)} \qquad \operatorname{tg} \alpha = \frac{I_2}{I_1}, \qquad \operatorname{tg} \beta = \frac{V_2}{V_1};$$

d'où :

$$I_0^2 \frac{d\alpha}{dx} = I_1 \frac{dI_2}{dx} - I_2 \frac{dI_2}{dx}, \quad V_0^2 \frac{d\beta}{dx} = V_1 \frac{dV_2}{dx} - V_2 \frac{dV_1}{dx},$$

ou d'après (8) et (9) :

$$\text{(51)} \qquad -I^2 \frac{d\alpha}{dx} = -\sigma W_r + \omega\gamma W_a, \quad -V^2 \frac{d\beta}{dx} = \rho W_r + \omega\lambda W_a.$$

Les variations instantanées des décalages se trouvent ainsi exprimées en fonction des puissances et des valeurs efficaces de l'intensité et de la tension.

La solution que je viens de donner comprend quatre constantes, mais en réalité, le nombre des constantes indépendantes

se réduit à trois, comme je vais l'expliquer ; c'est le point le plus délicat de ce problème.

Nous avons deux équations du second ordre ; nous pouvons donc, analytiquement parlant, prendre comme conditions initiales, les valeurs de W_a, W_r et de leurs dérivées premières par rapport à x, à l'origine de la ligne.

Or nous avons pour expression de ces dérivées

$$-\frac{dW_a}{dx} = \sigma V^2 + \rho I^2 \quad -\frac{dW_r}{dx} = \lambda\omega I^2 - \gamma\omega V^2$$

ce qui donne, en résolvant ces équations :

$$(\sigma\lambda + \rho\gamma)\omega V^2 = -\lambda\omega\frac{dW_a}{dx} + \rho\frac{dW_r}{dx},$$

$$(\sigma\lambda + \rho\gamma)\omega I^2 = -\gamma\omega\frac{dW_a}{dx} - \sigma\frac{dW_r}{dx}.$$

Reportons ces valeurs de I^2 et V^2 dans l'identité

$$W_a^2 + W_r^2 = I^2 V^2,$$

il vient :

$$(\sigma\lambda + \gamma\rho)^2\omega^2(W_a^2 + W_r^2) = \left(\lambda\omega\frac{dW_a}{dx} - \rho\frac{dW_r}{dx}\right)\left(\gamma\omega\frac{dW_a}{dx} + \sigma\frac{dW_r}{dx}\right).$$

On a ainsi, sans constante arbitraire, une condition qui subsiste entre W_a, W_r et leurs dérivées premières.

C'est là la relation qui, en particulier, à l'origine de la ligne, relie les quatre données initiales. Elles se réduisent donc à trois données indépendantes.

Dans le cas où l'on prend comme données les valeurs de W_a et de W_r aux deux bouts de la ligne, on obtient la solution générale qui a été donnée plus haut et en reportant dans la relation que nous venons d'écrire les valeurs qu'elle donne des puissances et de leurs dérivées, on a une équation qui, devant être satisfaite pour $x = o$, par exemple, donnera une relation de compatibilité entre nos quatre constantes. Il n'y aura donc plus que trois arbitraires, ainsi que nous l'avions annoncé.

Ce résultat, d'ailleurs, ne doit pas nous étonner. En effet,

l'état électrique de régime permanent est bien défini, si l'on se donne I_1, V_1 ; I_2, V_2 ; et il en résulte des valeurs déterminées de la puissance active et de la puissance réactive au même point, mais ces deux puissances resteront sans modification si l'on fait tourner dans leur plan d'un même angle, en les entraînant par un mouvement d'ensemble, les deux vecteurs représentatifs, intensité et tension. Les valeurs de I_1, V_1 ; I_2, V_2 nous donnent donc quatre quantités indépendantes, tandis que celles de W_a, W_r et de leurs dérivées ne nous en donnent que trois, puisque leur connaissance laisse indéterminée l'orientation absolue des vecteurs d'intensité et de tension.

SUR UN DISPOSITIF DE PROTECTION CONTRE LES CHOCS ACOUSTIQUES,

Par P. CHAVASSE,
Ingénieur des Postes et Télégraphes (1).

La proximité excessive des lignes de transport d'énergie électrique et des nappes de fils téléphoniques ou télégraphiques a pour effet de développer entre elles des actions d'influence mutuelle d'origine électrique ou électromagnétique, dont l'importance est parfois considérable. Au nombre des troubles de nature très variée auxquels ces actions peuvent donner naissance sur les circuits téléphoniques, se classent les *chocs acoustiques*, qui se manifestent sous la forme d'un ébranlement violent des membranes des récepteurs reliés aux circuits influencés. La phase ultime et seule apparente du phénomène est donc un bruit ou une succession de bruits intenses, susceptibles d'affecter gravement les téléphonistes en écoute.

Quelles que soient les origines lointaines ou immédiates de ce trouble, et sans vouloir analyser en détail un phénomène dont le processus n'est pas encore nettement défini, on peut retenir, des nombreuses études techniques qui lui ont été consacrées, que le choc acoustique est intimement lié soit à la propagation d'une onde de tension à front raide et de grande amplitude affectant l'aspect de l'onde de décharge d'un condensateur, soit au passage momentané d'un courant intense et d'allure plus ou moins complexe, soit encore à la combinaison probable de ces deux effets. En tout état de cause, il détermine, dans les appareils terminaux du circuit influencé, un afflux considérable d'électricité dont l'intensité atteint plusieurs centaines de milliampères, peut-être même davantage.

---

(1) Article paru dans le *Journal télégraphique* de Berne : 1925, n° 7.

Divers dispositifs ont été imaginés pour protéger les installations téléphoniques contre les chocs acoustiques. Parmi ceux-ci, il faut plus particulièrement citer le disjoncteur Boyé, dont sont dotés un certain nombre de bureaux téléphoniques de l'État dans le sud-ouest de la France. Cet appareil, réduit à son principe, est un électro-aimant d'une extrême rapidité de déclenchement, dont l'armature doit rompre le circuit sur lequel il se trouve placé dès le début de toute onde d'intensité anormale. Son fonctionnement repose donc sur les actions électromagnétiques ordinaires des courants électriques.

L'administration des Postes et Télégraphes expérimente depuis quelques mois un système limiteur d'intensité d'un principe tout différent qui fait appel aux propriétés électroniques des lampes à trois électrodes (1).

Principe. — On sait qu'il existe, entre la différence de potentiel U existant entre la grille et le point commun (pôle négatif du filament) d'une lampe à trois électrodes et l'intensité du courant de plaque I_p de cette lampe, c'est-à-dire le flux d'électrons traversant l'espace filament—plaque, une relation dont la forme exacte est théoriquement très complexe, et qui dépend d'ailleurs de plusieurs paramètres dont les deux principaux sont : l'intensité du courant de chauffage et la tension appliquée entre plaque et point commun. Si l'on fixe les valeurs des paramètres, cette relation se traduit graphiquement par une courbe du type de la courbe représentée sur la figure 1, dont l'examen fait ressortir deux caractères fondamentaux :

1° Pour les valeurs de U comprises entre deux limites U_1 et U_2 correspondant en général à un intervalle U_2-U_1 d'une trentaine de volts, l'intensité I_p est une fonction sensiblement linéaire de la tension U ;

2° Pour des valeurs de U extérieures à l'intervalle (U_1-U_2),

(1) Un brevet, concernant l'application du courant de saturation de lampes électroniques à la limitation de l'intensité des chocs acoustiques, a été pris en Belgique par M. Ruynat, inspecteur des Postes et Télégraphes brevet belge n° 256.273 du 5 décembre 1924).



l'intensité I demeure inférieure ou égale à une valeur I_m qui est appelée l'*intensité du courant de saturation* de la lampe dans les conditions d'emploi. Cette valeur I_m est, pour des lampes françaises normalement chauffées, inférieure à une vingtaine de milliampères.

Si donc, au moyen d'un transformateur T, on relie un cir-

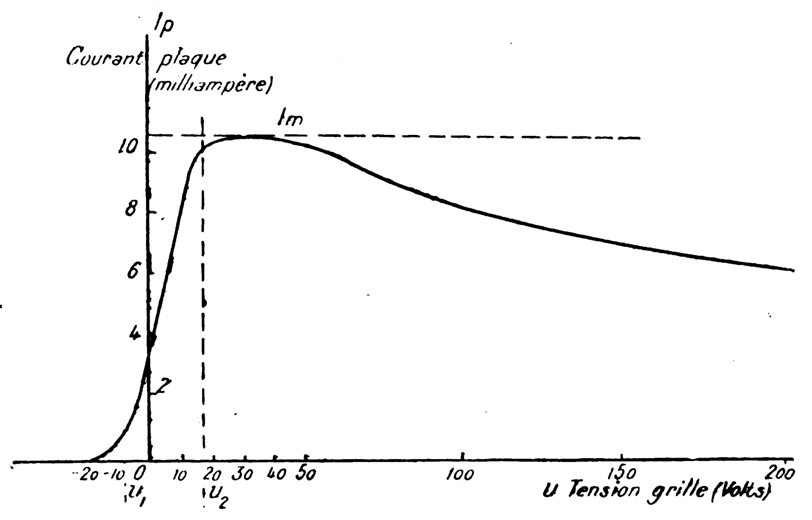


Fig. 1. — Type de caractéristique d'une lampe à trois électrodes.

cuit téléphonique aux bornes de l'espace filament—grille et si l'on introduit un récepteur téléphonique en série avec la batterie de plaque, les petites variations alternatives dues aux courants microphoniques provenant du circuit créeront des variations proportionnelles de l'intensité du courant qui traverse le récepteur et la parole sera fidèlement reproduite. Cette propriété de la lampe à trois électrodes est d'ailleurs celle que l'on utilise normalement dans les systèmes amplificateurs.

Au contraire, toute variation excessive de tension due, par exemple, à un phénomène d'induction, se traduira seulement par le passage d'un courant d'intensité inférieure à I_m. La réaction correspondante du récepteur est donc négligeable. La cause du choc acoustique (surtension, décharge brusque, surintensité) subsiste, mais son effet est pratiquement supprimé, ou du moins

réduit à des proportions acceptables (1) par la lampe, qui joue en quelque sorte le rôle d'écran.

Il est clair que ce qui vient d'être dit pour une seule lampe est valable pour tout amplificateur à lampes ayant un nombre quelconque d'étages d'amplification. Néanmoins, pour des raisons de simplicité, d'encombrement et d'économie, l'application qui a été faite de ce principe a été limitée à des dispositions comportant une seule lampe ou, au maximum, deux lampes.

Réalisation pratique. — Pour que le dispositif précédent, théoriquement correct, soit susceptible d'être utilisé dans la pratique, il faut qu'il satisfasse aux deux conditions principales suivantes :

1° L'écran protecteur interposé entre le circuit et le récepteur téléphonique ne doit pas nuire à la qualité de l'audition ; or une comparaison auditive montre que, pour une même émission microphonique faite au départ d'un circuit téléphonique, les courants reçus à l'arrivée dans un récepteur serre-tête de faible impédance, protégé par une lampe française du type ordinaire non munie de transformateurs appropriés, ont une intensité au plus égale au cinquième de celle des courants parvenant au même récepteur directement relié au circuit ; ce résultat s'explique facilement par des considérations basées sur les valeurs moyennes respectives du coefficient d'amplification et de la résistance de l'espace filament—plaque des lampes françaises ;

2° Il doit y avoir possibilité de communication bilatérale, c'est-à-dire transmission, sans perte appréciable, de courants émanant du microphone du poste protégé à destination du circuit influencé.

On peut aisément remplir ces deux conditions avec un appareil ne comportant qu'une seule lampe (ou deux lampes en parallèle) en prenant certaines précautions qui sont d'ailleurs familières aux techniciens du téléphone.

(1) L'établissement instantané d'un courant de 20 milliampères ne produit, dans un récepteur même sensible (comme un récepteur Bell), qu'un toc relativement faible.

Pour compenser la diminution apparente d'*efficacité téléphonique* du récepteur serre-tête ordinaire, due à l'emploi de la lampe électronique, il est nécessaire de donner au transformateur T un rapport de transformation convenable : on sait que la valeur optimum de ce dernier serait égale à la racine carrée du rapport des modules des impédances de l'espace filament—grille et du circuit à protéger. Pratiquement, eu égard aux caractéristiques et aux conditions d'emploi des triodes mises en service,

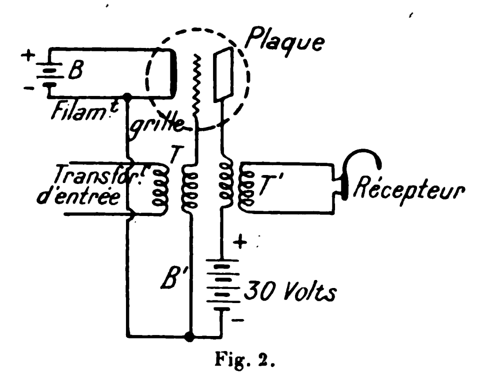


Fig. 2.

un rapport de 8/1 ou de 10/1 est satisfaisant. L'audition est encore améliorée par l'introduction d'un second transformateur T′ (abaisseur, à rapport de transformation plus petit que 1) dans le circuit de plaque, ou par la substitution, au récepteur ordinaire, d'un appareil de haute impédance. Le schéma correspondant est représenté par la figure 2.

Les artifices qui viennent d'être indiqués sont classiques dans la construction des amplificateurs ; mais une remarque s'impose dans le cas présent : alors que l'influence du transformateur T n'est aucunement préjudiciable au fonctionnement de la lampe comme écran protecteur contre les chocs acoustiques, l'accroissement du rapport de transformation de T′ a, au contraire, pour effet d'accroître artificiellement l'intensité maximum susceptible de traverser le récepteur téléphonique. L'augmentation de l'impédance et de la sensibilité du récepteur rend également celui-ci plus apte à enregistrer les brusques variations d'intensité du courant de plaque de la lampe et à en exagérer l'effet

acoustique. Il y a donc lieu d'agir avec prudence dans la détermination des constantes des appareils intercalés dans le circuit de plaque.

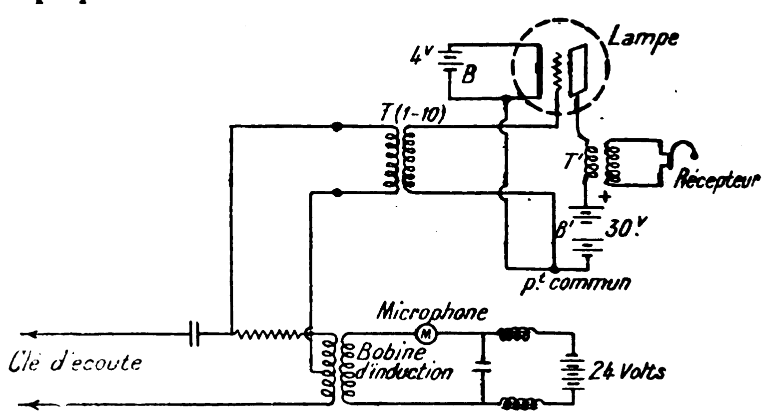


Fig. 3. — Dispositif de protection avec montage anti-local.

Le problème posé par la deuxième condition d'exploitation est du genre de ceux que l'on rencontre dans la réalisation des relais amplificateurs à double sens de transmission. Il n'apparaît cependant dans toute sa complexité que si l'on se propose de protéger non seulement un poste, mais un circuit local ; il impose alors le recours aux réseaux d'équilibrage et aux transformateurs différentiels d'entrée et de sortie. Dans le cas où l'on se préoccupe exclusivement d'un poste d'opératrice, la solution est beaucoup plus simple, car les connexions du microphone et du récepteur sont distinctes. Il suffit, en effet, que les courants microphoniques n'aient pas à traverser des appareils d'une impédance trop élevée. Les postes munis d'un dispositif « anti-local » sont, à cet égard, particulièrement avantageux, car le récepteur se trouve monté, par rapport au microphone, comme l'appareil de zéro d'un pont

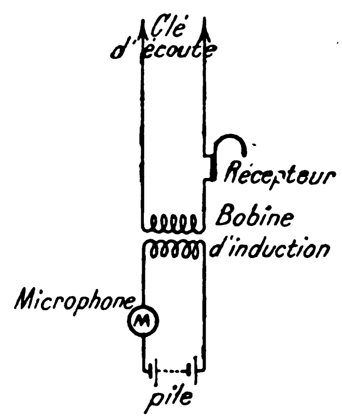


Fig. 4. — Poste d'opératrice non muni d'un dispositif anti-local.

de Wheatstone équilibre : les courants microphoniques ne le traversent pas, et l'on peut le remplacer par un appareil ayant une impédance quelconque, sans modifier la qualité de la transmission. La figure 3 représente la combinaison d'un semblable poste avec la lampe protectrice.

Lorsque le montage du poste d'opératrice ne comporte pas de dispositif anti-local (fig. 4), on substitue simplement au récepteur le transformateur d'entrée T de la triode qui se

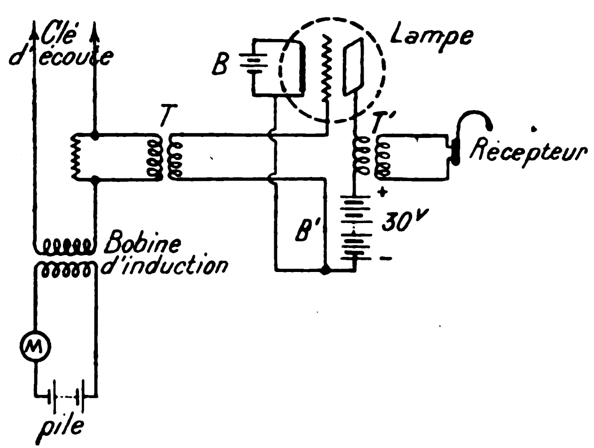
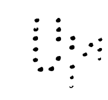


Fig. 5. — Connexions du dispositif de protection
dans le cas d'un poste d'opération sans montage anti-local.

trouve ainsi en série avec la bobine d'induction associée au microphone (fig. 5). Si l'impédance du primaire de T est trop grande, il est loisible de la réduire en la shuntant par une résistance analogue à celle du récepteur primitivement en circuit. Ce dispositif, en apparence moins parfait que le précédent, semble avoir néanmoins donné, en pratique, des résultats satisfaisants.

Disposition de l'ensemble de plusieurs postes protégés. — Les lampes protégeant plusieurs positions d'opératrices sont alimentées en parallèle par deux batteries communes : l'une B, de 4 volts, alimentant les filaments, l'autre B′ fournissant la tension appliquée aux différentes plaques (30 à 40 volts). Le rapport existant entre l'impédance de l'intervalle filament—plaque et



celle des batteries et conducteurs d'amenée est suffisamment grand pour rendre négligeables les mélanges de conservation. Dans le cas cependant où le câblage du bureau introduirait un certain cross-talk, ou si l'on utilise comme source de tension—plaque une batterie de piles sèches dont la résistance

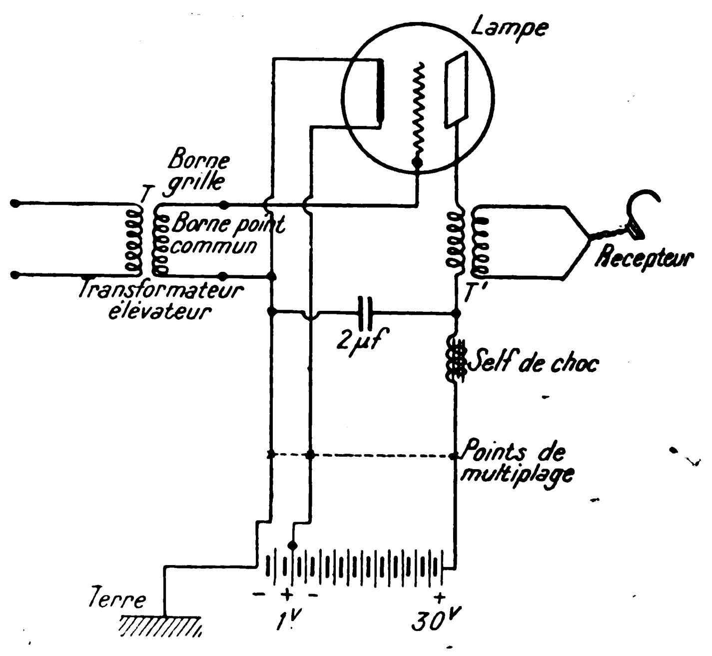


Fig. 6. — Alimentation commune de plusieurs lampe au moyen d'une seule batterie. (Les condensateurs et selfs de chocs individuels peuvent, en général, être supprimés.)

intérieure est parfois élevée, le montage peut être complété par un système de condensateurs et de self identique à celui qui est en usage pour l'alimentation des microphones d'opératrice dans les bureaux téléphoniques à batterie centrale (fig. 6).

Lorsque de nombreux postes se trouvent réunis dans un même bureau, l'emploi de lampes à faible consommation fournit un moyen commode de réduire la capacité de la batterie commune de chauffage. La consommation de ces lampes, qui est seulement de 60 à 100 milliampères, est en effet du même ordre de grandeur que celle des microphones, et le courant supplé-

mentaire qui leur est nécessaire peut être demandé sans inconvénient aux batteries centrales d'accumulateurs des grands bureaux téléphoniques.

Pour les petits bureaux possédant, au contraire, deux ou trois positions protégées, des batteries communes ou individuelles de piles du type administratif sont parfaitement utilisables.

L'administration des Postes et Télégraphes a déjà équipé

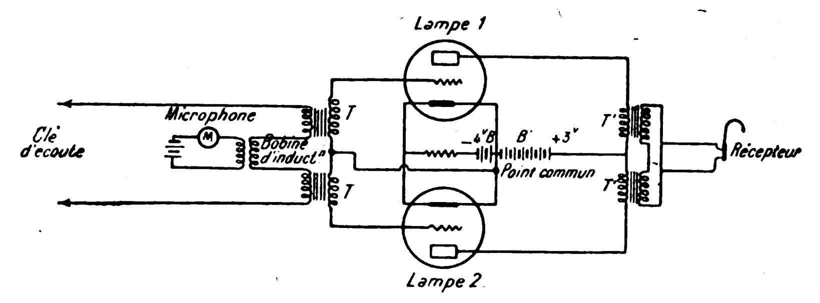


Fig. 7. — Montage équilibré avec deux lampes.

plusieurs bureaux du midi de la France suivant les lignes générales qui viennent d'être indiquées, mais avec des variantes appropriées aux conditions locales. Les schémas donnés précédemment sont naturellement plutôt des schémas de principe. Il faut signaler en particulier une modification qui a été suggérée par l'expérience, et qui consiste à munir chaque table interurbaine de deux lampes protectrices montées en « push-pull » : le secondaire de la bobine d'induction du poste est intercalé entre les primaires des transformateurs d'entrée des deux lampes, et le point milieu de l'ensemble des secondaires de ces transformateurs connectés en série est relié au point commun et à la terre. Cette disposition améliore l'audibilité du système en éliminant certaines déformations dues à l'emploi des lampes et en diminuant les bruits d'induction grâce à une symétrie plus parfaite par rapport au sol. La figure 7 représente ce montage, tel qu'il a été réalisé à Pau.

REVUE DES PÉRIODIQUES.

PÉRIODIQUES EN LANGUE FRANÇAISE.

Disjoncteur ultra-rapide (*A.C.E.C* : avril-juin 1925). — Le rôle des disjoncteurs dits ultra-rapides est, d'une part, de limiter la puissance des courts-circuits qui peuvent se produire au voisinage immédiat des machines à collecteur et, d'autre part, d'interrompre le circuit extérieur ou, tout au moins, d'y réduire l'intensité du courant assez rapidement pour qu'un coup de feu amorcé sous une ligne de balais n'ait pas le temps de se propager à la ligne de balais de polarité opposée.

La variation du courant en cas de court-circuit franc étant déterminée uniquement par la réactance de fuite de la machine peut atteindre des valeurs de 2.10^6 à 6.10^6 ampères par seconde : dans le millième de seconde qui suit la naissance du court-circuit l'intensité du courant a le temps de croître de plusieurs milliers d'ampères.

Pour être efficace, un disjoncteur doit, par conséquent, commencer à introduire dans le circuit la résistance croissante de son arc dans un temps de l'ordre du millième de seconde.

Si un coup de feu s'est amorcé au collecteur, on admet généralement qu'il ne pourra s'étendre entre deux lignes de balais consécutives que si les arcs, entre un balai et la lame qui le quitte, se renouvellent pendant un temps égal à celui que met une lame pour passer d'une ligne de balais à l'autre, soit 1/100 de seconde dans les commutatrices à 50 périodes. L'interruption du circuit extérieur — ou, tout au moins, une réduction du débit de la machine suffisante pour supprimer les arcs à la sortie de la ligne des balais — doit donc s'effectuer dans un temps de l'ordre de 1/100 de seconde.

Ainsi, dans un disjoncteur ultra-rapide, la séparation des contacts et la naissance de l'arc de rupture doivent se produire le plus

rapidement possible après la naissance du court-circuit, et la durée totale de l'interruption ne doit pas excéder celle d'une demi-période.

Les appareils à maintien électro-magnétique du contact mobile

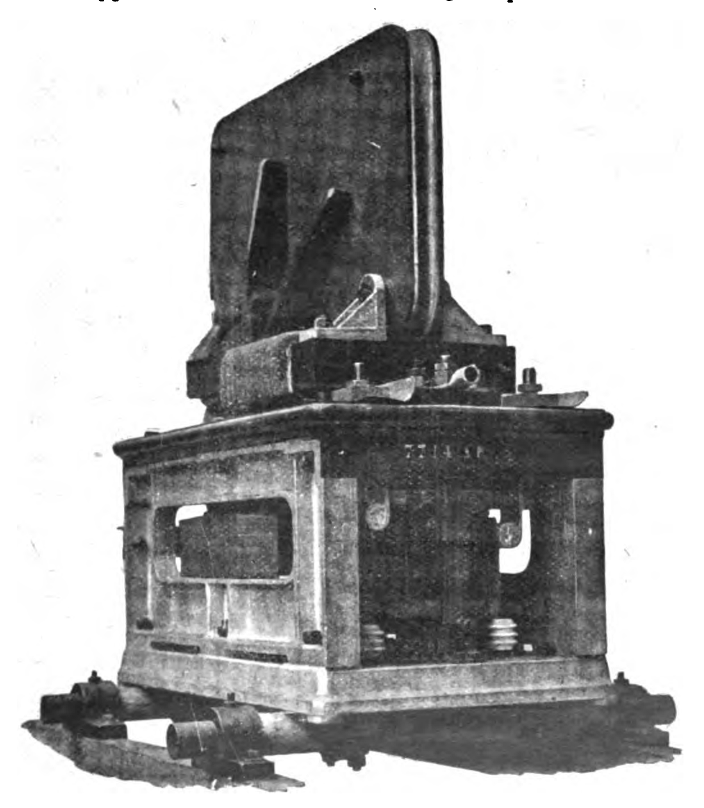


Fig. 1. — Disjoncteur à déclenchement ultra-rapide (avec maintien sans bobine shunt) pour la protection des commutatrices et des locomotives électriques (1.500 volts, 500 ampères).

répondent seuls à ces conditions. Les systèmes à maintien par accrochage comportent nécessairement le retard dû à la durée du décrochage, et ils se dérèglent facilement en raison des pressions importantes que l'accrochage doit maintenir sur les contacts, pressions qui amènent une usure rapide des encliquetages.

Dans la plupart des disjoncteurs ultra-rapides, le levier du contact mobile est maintenu en pression contre le contact fixe par l'attraction d'une armature collée sur les pièces polaires d'un électro



excité par une bobine shunt branchée en dérivation sur la machine ou la ligne à protéger. Le courant de la machine provoque à un moment donné l'arrachement de l'armature de maintien, directement ou par l'intermédiaire d'un ressort, avec réduction (ou suppression) simultanée du flux de collage.

Ces systèmes présentent tous l'inconvénient très rare de faire dépendre le réglage de l'intensité de déclenchement de la tension d'alimentation de l'électro de maintien, de sorte qu'une baisse de

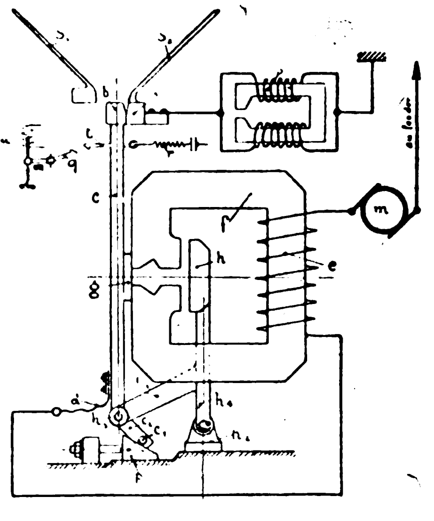


Fig. 2.

tension de la machine ou de la ligne provoque l'ouverture du disjoncteur pour des intensités très inférieures à l'intensité prévue.

Ce défaut a été évité dans le disjoncteur ultra-rapide breveté des Ateliers de constructions électriques de Charleroi ; le maintien et le déclenchement y sont, en effet, réalisés tous deux par l'effet seul du courant de la machine à protéger.

Principe de l'appareil. — L'appareil comporte essentiellement un contact fixe *a* dont la position est réglable, et un contact mobile *b* porté par un levier en aluminium *c* (fig. 2).

Sur le levier *c* est fixée une armature *g* attirée par les pièces polaires d'un électro-aimant *f*.

Une deuxième armature h, de plus grandes dimensions, se présente devant les grandes faces des pièces polaires de l'électro f et est fixée sur un levier h_4 h_1 articulé, en h_2 sur un support fixe, et en h_3 sur le levier c.

Le levier c se prolonge au delà de l'articulation h_3 par un bras c_2 terminé par un rouleau c_1 qui s'appuie sur une rampe réglable p.

Une connexion souple d relie le levier c à l'enroulement e de l'électro traversé par le courant de la machine à protéger m.

Ce courant traverse également les enroulements d'excitation s d'un électro de soufflage magnétique, dont le champ concentré sur la ligne de contact rejette énergiquement l'arc sur les cornes s_1, s_2.

Le mode opératoire, dans ses grandes lignes est le suivant :

Le levier c étant supposé poussé vers la droite de la figure de façon que la petite armature g s'applique sur les faces polaires de l'électro f, les contacts a et b se touchent et ferment le circuit ; le flux engendré par le courant de la machine dans l'enroulement e provoque une forte attraction de l'armature g, et réalise la pression désirée entre les contacts a et b.

Le circuit magnétique du flux qui traverse l'armature g étant constitué entièrement par du fer se trouve saturé pour une charge de la machine très inférieure à la valeur de déclenchement. A partir de ce moment, l'attraction de l'armature g reste sensiblement constante.

Mais une partie du flux dû à l'enroulement e est dérivée dans la grande armature h, en traversant le double entrefer qui la sépare des pièces polaires. Ce flux, et l'attraction qu'il provoque sur h, croissent constamment avec le courant de la machine. Pour une certaine valeur de ce courant, l'action de l'armature h sur le levier c sera supérieure à celle de l'armature g qui se décolle en même temps que son attraction diminue très vite. L'effort magnétique de h en h_3 ne trouvant plus de maintien, le levier c bascule brusquement autour de la circulation de h_3, et les contacts a, b s'ouvrent.

L'armature h est d'ailleurs fortement attirée sur les faces polaires correspondantes, le flux dans son entrefer croissant brus-



quement dès qu'un entrefer se produit sous l'armature g. Il y a donc en même temps sur l'articulation h_2 un choc important qui accentue le mouvement de bascule du levier c autour du rouleau c_1 et de son appui p, mouvement qui reste d'ailleurs indépendant de celui de l'armature h. L'inertie de cette dernière n'intervient donc pas dans l'accélération du levier c et dans la rapidité de séparation des contacts a, b.

Il en résulte aussi que le mouvement du levier c comporte une forte accélération initiale, mais n'est pas constamment accéléré par les efforts de déclenchement, comme il arrive dans les appareils où ces efforts sont fournis par des ressorts et où le choc à fin de course compromet la bonne tenue de la construction.

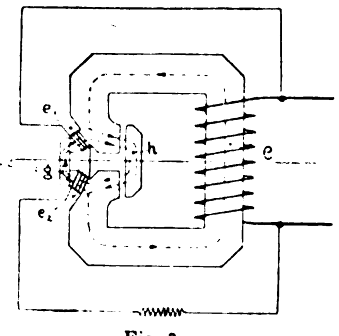


Fig. 3.

Le mouvement du levier c à fin de course est d'ailleurs amorti par l'engagement d'un crochet l sur un cliquet q, qui maintient les contacts ouverts après déclenchement.

Pour fermer l'appareil, il suffit d'abaisser le cliquet q, en tirant une cordelette ou en faisant agir sur ce cliquet un petit électro u commandé à distance. Le levier c est alors rappelé dans la position d'enclenchement par un ressort r à grande flèche qui s'est tendu au déclenchement de la quantité juste suffisante pour ramener le poids du levier c dans la position de fermeture par rotation autour de h_3.

Accélération du déclenchement en cas de variation brusque de la surcharge. — Pour réaliser le déclenchement anticipé de l'appareil, en cas de surcharge ou de court-circuit brusque, autrement dit pour que le mouvement du levier c ait lieu pour une valeur de l'intensité moindre que celle de réglage en surcharge lente, les cornes polaires de l'armature g sont pourvues d'un enroulement e_1 e_2, de faible section, placé en dérivation sur l'enroulement e, et disposé de telle façon que le flux de e_1 e_2 soit, dans l'armature g, de sens opposé à celui que fournit l'enroulement principal e (fig. 3).

En régime continu ou dans le cas d'accroissement lent de la charge, le courant des enroulements e_1, e_2 n'est qu'une fraction du courant principal. Si la charge varie brusquement, la self-induction de l'enroulement e étant plus grande que celle de e_1 e_2, l'intensité dans ce dernier croît dans le rapport inverse des selfs, et non plus des résistances. Le flux dû à l'enroulement e_1 e_2 dans l'armature g tend très rapidement à atteindre une valeur égale et opposée au flux dû à l'enroulement e. A cet instant, l'attraction de l'armature g est nulle ; l'armature h agissant seule sur le levier c le fait basculer

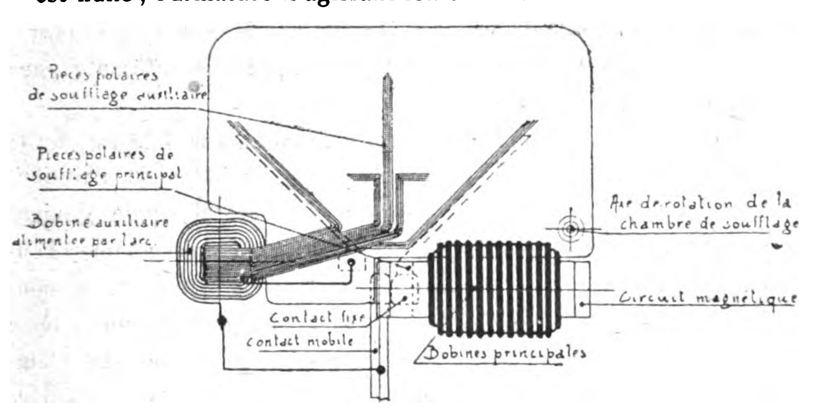


Fig. 4. — Schéma, montrant le dispositif de soufflage magnétique.

beaucoup plus vite, qu'en surcharge lente, où l'origine du mouvement est déterminée par l'inégalité seulement des actions de g et de h sur le levier c.

De plus, tandis que les forces magnétomotrices des enroulement e_1 e_2 et e agissent en sens opposé dans l'armature g, elles agissent au contraire dans le même sens dans l'entrefer de l'armature h ; de sorte que le choc de courant dans e_1 e_2 contribue à l'attraction de cette dernière et à l'augmentation de l'effort de déclenchement sur le levier c.

Soufflage électromagnétique. — Le système de soufflage se compose essentiellement (voy. fig. 4) :

1° de deux bobines de soufflage principales montées en parallèle ;

2° d'une bobine auxiliaire alimentée par l'arc ;

3° de cornes polaires très allongées pour augmenter la longueur de l'arc à souffler ;

4° d'une boîte de soufflage en isolant réfractaire pouvant basculer autour d'un axe, pour le nettoyage et l'entretien des contacts, ou le remplacement des cloisons isolantes.

Les parties de fer des circuits magnétiques sont en fer feuilleté pour éviter l'effet retardateur des courants de Foucault dans le cas d'un accroissement rapide de courant.

Dispositif spécial de contact classique à dash-pot. — Le disjoncteur devant supporter en régime normal des courants intenses, il importe de réaliser sur les contacts une pression suffisante pour éviter les échauffements.

Comme le déplacement du levier du contact mobile est limité par les palettes de maintien, un contact classique devient nécessaire. Mais, comme à l'ouverture du disjoncteur ce contact doit rester fixe, un système de freinage par dash-post empêche le contact fixe de suivre le contact mobile sous l'effet de la détente du système élastique.

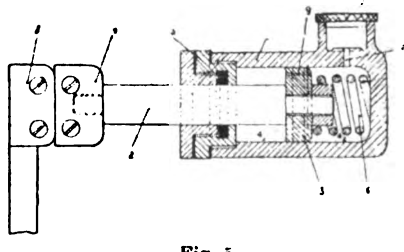


Fig. 5.

Le dispositif spécial est réalisé comme il suit (fig. 5).

Le contact fixe 1 est porté par la tige 2 d'un piston 3 pouvant coulisser dans un cylindre 4 plein d'huile. Un petit conduit 9 pratiqué dans le piston en fait communiquer les deux faces. Un ressort de compression 6 est disposé dans le cylindre et exerce son action sur le contact mobile 8. Enfin un réservoir auxiliaire 7 plein d'huile communique avec le cylindre par l'orifice 10.

Lorsqu'on ferme le disjoncteur, le contact mobile venant presser sur le contact fixe, le ressort tend à être comprimé, et l'huile, sous l'effet de cette pression, tend à passer par le conduit 9 pour combler le vide qui se fait derrière le piston. Lorsque l'appareil est enclenché, le corps du piston est entièrement rempli d'huile.

Si le disjoncteur vient à s'ouvrir, le contact mobile quitte rapi-

dement le contact fixe, et le ressort tend à repousser le piston ; ce déplacement du contact fixe n'a lieu qu'avec la vitesse que permet le passage de l'huile incompressible à travers l'orifice 9, c'est-à-dire très lentement par rapport au mouvement d'ouverture des contacts de l'appareil.

Ce dispositif permet d'obtenir une bonne pression sur les contacts malgré leur usure et sans diminution appréciable de la rapidité.

Appareil à gouverner hydro-électrique (L. Liggier, dans *Électricité et mécanique :* mai-juin 1925). — L'appareil à gouverner hydro-électrique se compose, en principe (fig. 1), d'un

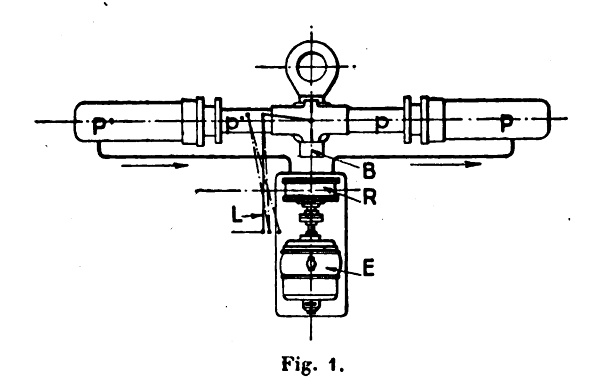


Fig. 1.

moteur électrique E à allure constante, actionnant directement une pompe R à course variable et à renversement de sens des courants, et de deux presses opposées, P, P', dont les plongeurs p, p', reliés entre eux, agissent sur la barre B.

Si l'on agit sur la pompe par l'intermédiaire des leviers L pour la faire débiter dans le sens des flèches, l'huile sons pression sera introduite dans le cylindre P et le plongeur b poussera la barre tant que la pompe débitera, le plongeur p' refoulera l'huile à l'aspiration de la pompe.

Le mouvement inverse sera obtenu en changeant le sens du refoulement et de l'aspiration. Quand la pompe est au stop, elle ne débite plus, la barre est maintenue fixe. On détermine ainsi tous les mouvements convenables pour l'orientation voulue du gouvernail.

Il est à remarquer que le moteur électrique tournant d'une façon continue n'est pas soumis aux arrêts et mises en route fréquents, d'où aucune incertitude de fonctionnement, aucun raté possible de contacts ou contacteurs, et que les pompes, fonctionnant dans l'huile et ne marchant d'ailleurs en charge qu'une très faible partie de temps, ne sont pas sujettes à usure.

Comme pour les appareils à vapeur, la commande s'exécute par l'intermédiaire d'un télémoteur dont le manipulateur est placé

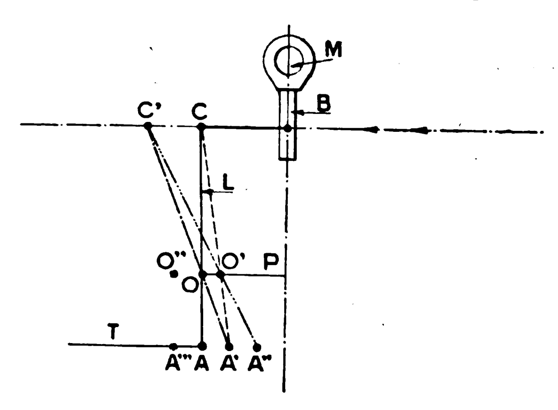


Fig. 2.

sur la passerelle, et les mouvements de la pompe de la barre sont asservis de telle façon que pour un angle donné du volant de manœuvre corresponde un angle déterminé du gouvernail.

L'ensemble schématique de la manœuvre et de l'asservissement est représenté fig. 2. Le levier L est relié à l'une de ses extrémités C à la barre B ; à l'autre A, au télémoteur T et vers son centre O à la tige de commande de la pompe. La barre étant droite et le levier L en position moyenne, l'axe O correspond à l'excentricité ou course nulle de la pompe, celle-ci ne débite pas et tout est au repos. Si l'homme de manœuvre agissant sur le télémoteur amène le point A en A′, le levier L prendra la position C A′ et le point O viendra en O′, la pompe débitera et la barre sera poussée dans le sens de la flèche. Le point C se déplacera alors vers C′ et le mouvement de la barre continuera jusqu'à ce que le point C atteigne C′, le levier L aura alors la position C′ A′ et le point O′ sera ramené

en O (débit nul). Mais si, pendant que la barre se déplace, l'homme de barre continue la manœuvre dans le même sens, le point A′ viendra en A″, le point O′ ne sera pas déplacé et la pompe continuera à débiter, jusqu'au moment où, le point A″ restant fixe, le centre du levier reviendra en O. On voit donc que la barre marchera tant que tournera le volant du télémoteur et que tout mouvement cessera dès que le volant sera stoppé. La pompe et, par suite, la barre sont donc parfaitement asservies.

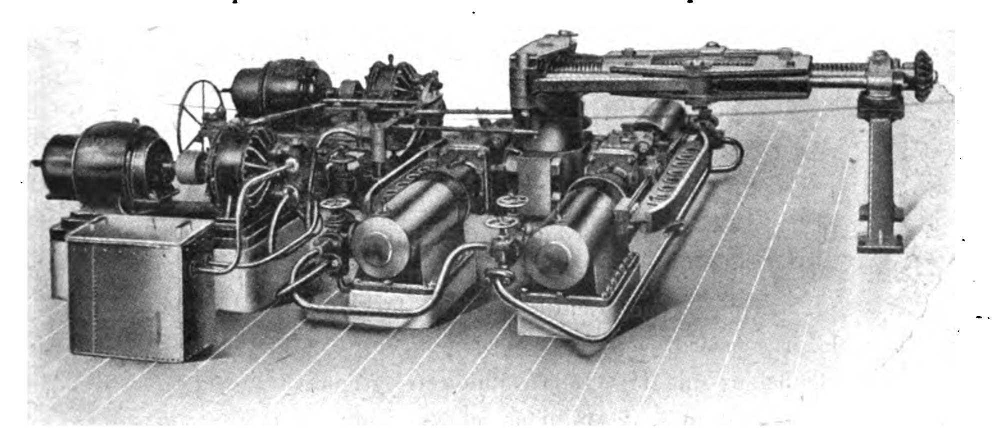


Fig. 3.

Pour la manœuvre en sens inverse, A viendrait vers A‴, O vers O″, la pompe débiterait, le sens des courants étant inversé, et par suite la barre marcherait dans le sens opposé à la flèche.

Il est à remarquer qu'un très léger déplacement de A provoque le fonctionnement immédiat de la pompe et que, par suite, la barre obéit instantanément au commandement de l'homme de barre qui peut ainsi gouverner d'une façon très précise. Il n'en est pas de même avec les servo-moteurs à vapeur, car les tiroirs d'asservissement ont toujours un certain recouvrement, et le moteur ne se met en route que lorsque l'orifice de vapeur est largement ouvert, d'où un temps mort, ou plutôt un décalage appréciable contre la commande et l'exécution de l'ordre. L'homme de barre est donc obligé

de faire une certaine fraction de tours de volant, avant que le servo-moteur obéisse. Ainsi l'ensemble de l'appareil à gouverner hydro-électriques est des plus simples.

La figure 3 donne le détail d'un appareil complet Hele—Shaw Martineau à quatre presses, construit par les établissements Paul Duclos avec équipement électrique Thomson-Houston.

PÉRIODIQUES EN LANGUES ÉTRANGÈRES.

Les progrès récents réalisés en télégraphie sous-marine (P. Gurewitsch, de Zürich, dans : *E.T.Z.*, 26 février 1925). — Du 6 au 21 septembre 1924, on a posé, entre New York (Rockaway Beach, Long Island) et les Açores (Horta, Fayal), un câble chargé au permalloy, long de 4.373 kilomètres environ. Depuis la pose du premier câble transatlantique (1866), le nouveau câble représente le progrès le plus marqué accompli en télégraphie sous-marine Rappelons que la Western union telegraph C° possède 7 câbles transatlantiques, 2 millions et demi de kilomètres de lignes terrestres, et 26.000 bureaux télégraphiques répartis sur l'ensemble du territoire des États-Unis ; c'est la plus importante compagnie télégraphique du monde entier, et celle dont le réseau de câbles est le plus étendu.

Le nouveau câble est le premier qui mettra directement en relation l'Europe méridionale et l'Amérique du nord ; pour cela, il sera raccordé à un câble du type ordinaire posé entre l'Italie et les Açores en janvier 1925 [1]. Il a été fabriqué par la Telegraph construction and maintenance c° de Londres en collaboration avec la Western electric c°, et posé par le Colonia, le plus puissant câblier du monde, à une vitesse moyenne de 370 kilomètres par jour. D'après les articles publiés dans la presse tech-

(1) Le câble Italie-Açores appartient à la « Compagnia italiana dei Cavi Telegrafici sotto-marini » et se divise en deux parties : la première, entre Horta et Malaga, a une longueur de 2.496 km ; l'autre partie Malaga—Anzio (petite localité située à 58 km de Rome) a une longueur de 1.848 km. Entre Anzio et Hammel (près de New York), il y a une distance de 8.720 km, en chiffres ronds. Le câble Malaga—New York a été ouvert au trafic télégraphique le 1er janvier 1925.



nique anglaise, la Telegraph constr. and Maintenance c° avait elle-même posé le premier câble transatlantique en 1866. Depuis cette époque, elle n'a pas construit et mis en place moins de 582.000 milles de câbles sous-marins de différents modèles, parmi lesquels on compte le câble Peterhead—Alexandrowsk, posé pendant la guerre, et le câble Montevideo (Uruguay) — îles Falkland.

Contrairement à ce qui s'est passé dans les autres domaines de l'électrotechnique, la télégraphie sous-marine ne s'est développée que très lentement, d'une part en raison des dépenses considérables entraînées par la construction et la pose des câbles, d'autre part en raison des risques que cette dernière opération peut présenter. (Le câble Emden—New York, via Açores, a coûté 20 millions de marcs d'or.) Les constructeurs de câbles s'en tenaient aux anciennes méthodes et se contentaient d'augmenter le diamètre des conducteurs en cuivre pour obtenir une vitesse de transmission télégraphique plus rapide ; cette année même, la Commercial telegraph c° a posé, entre le Havre et New York, un câble dont le poids de cuivre atteint 300 kilos par kilomètre (c'est-à-dire un poids total de 1.820 tonnes), et dont l'isolant (gutta percha) pèse à lui seul 832 tonnes. Ce câble a permis, il est vrai, d'atteindre la vitesse de 600 signaux par minute, ce qui constitue un second record ; mais les frais de premier établissement ont été très élevés.

Le nouveau câble, chargé au permalloy, permet de réaliser une vitesse de transmission de 1.700 signaux par minute, c'est-à-dire une vitesse six fois plus grande que celle qu'on peut réaliser sur les câbles, de même diamètre, du modèle ancien. Dans nombre de cas, cet accroissement de vitesse, combiné à une réduction du poids des conducteurs, contribuera notamment à rendre les câbles sous-marins techniquement et économiquement plus avantageux que les liaisons radiotélégraphiques.

On est arrivé à ce rendement extraordinaire en enroulant, autour du fil de cuivre isolé à la gutta-percha, un ruban de permalloy, alliage composé de 78,5 % de nickel et de 21,5 % de fer (1) ; l'alliage est soumis au préalable à un certain traitement

(1) On trouvera des détails sur le permalloy dans l'article de H.D.



thermique, qui est très important au point de vue du haut degré de perméabilité magnétique qu'il s'agit d'atteindre. Malgré que le ruban de permalloy qui entoure l'âme du câble ait une faible épaisseur ($0^{mm},15$), il augmente plus de deux mille fois l'intensité du champ magnétique là où il est posé. L'effet d'un ruban de fer serait à peine le dixième de l'effet produit par le permalloy ; d'ailleurs, les pertes dans le fer dépasseraient en importance le gain procuré par la charge inductive du câble. C'est pourquoi, avant la découverte du permalloy, on n'avait jamais chargé inductivement les longs câbles transocéaniques malgré que les principes de la charge inductive eussent été posés depuis longtemps par Heaviside, Pupin et Krarup, et malgré qu'on eût déjà construit des câbles krarupisés, c'est-à-dire des câbles dont l'âme de cuivre était entourée de fil de fer [1].

Sur le nouveau câble posé par la Western union entre New York et les Açores, les signaux mettent 3/10 de seconde pour parvenir à l'extrémité réceptrice. Mais ils peuvent se succéder à des intervalles de 1/60 de seconde seulement, tandis que, sur les anciens câbles, ces intervalles étaient de 1/10 de seconde ; telle est la conséquence heureuse de l'emploi de la charge au permalloy. La vitesse de transmission des signaux télégraphiques est sextuplée, et l'on peut transmettre jusqu'à 1.700 signaux par minute.

Nous allons montrer quelle est l'importance économique de l'invention. Sur les câbles de l'ancien modèle, on ne pouvait guère dépasser 32 mots de cinq lettres par minute ; sur les câbles modernes, on pouvait transmettre de 48 à 52 mots de cinq caractères ; ce rendement a été porté à 100 et 120 mots sur le câble New York — le Havre posé il y a environ un an ; enfin, sur le

---

Arnold et G.W. Elmen paru dans la revue *Electrical Communication*, 1924, n° 4. Voy. aussi *E.T.Z.*, 1924, p. 824.

(1) En Allemagne, on a construit un câble Krarup destiné à relier ce pays à l'Amérique du nord. On a choisi des constantes (résistance, capacité, inductance) telles, qu'il sera possible d'atteindre une vitesse de transmission comparable à celle qu'on obtient sur le nouveau câble de la Western union ; c'est la mer qui sert de conducteur de retour. M. K.-W. Wagner a exposé les particularités de ce câble au cours d'une conférence faite à Innsbruck lors d'une récente réunion de la société des physiciens allemands (voy. *Annales des P. T. T.*, 1925, p. 759 et 855).

câble chargé au permalloy dont il est question ici, on peut transmettre de 300 à 340 mots de cinq lettres par minute. On voit que le progrès réalisé en un an est remarquablement grand. Pour se procurer un rendement aussi élevé, et pour éviter l'encombrement aux heures de trafic intense, les compagnies de câbles transatlantiques étaient obligées jusqu'ici de poser jusqu'à une demi-douzaine de tronçons de câbles, ce qui évidemment exigeait des capitaux considérables (1). Ainsi, on compte aujourd'hui 18 liaisons par câbles sous-marins entre les États-Unis et l'Europe ; huit de ces câbles (y compris celui qui nous occupe) appartient à la Western union telegraph c°, six câbles appartiennent à la Commercial telegraph c°, et trois à la Compagnie française des câbles transatlantiques (compagnie P.-Q.). Le 18e câble, appelé *câble impérial*, appartient au gouvernement britannique et sert surtout à écouler le trafic télégraphique entre l'Angleterre et le Canada.

Avant la guerre, l'Allemagne possédait également deux tronçons de câbles Emden—Fayal (Açores), prolongés par des sections Açores—New York. Le premier des deux câbles appartenait à la Deutsch-Atlantische Telegraphen-Gesellschaft, dont le siège est à Cologne ; il avait été posé en 1900. D'après le traité de Versailles, les deux câbles devaient être cédés aux alliés ; l'un d'eux appartient aujourd'hui à la Commercial telegraph c°, l'autre à la Compagnie française. Avec l'appui des financiers américains, la Deutsch-Atlantische Telegraphen-Gesellschaft doit poser sous peu de nouveaux câbles entre Emden et Fayal. Le rendement total des 18 câbles (non compris le nouveau câble italo-américain) atteindrait environ 750 mots de 5 lettres par minute.

La préservation des poteaux en châtaignier aux Etats-Unis (T.C. Smith, dans : *The Bell system technical journal* ; avril 1925). — Chaque année, la compagnie Bell a besoin, en moyenne, de 200.000 poteaux en châtaignier, soit pour construire

(1) Le réseau de câbles sous-marins du monde entier a une longueur totale de 602.000 kilomètres ; il a coûté 6 millions de francs environ.

de nouvelles lignes, soit pour procéder au remplacement des appuis en mauvais état. Voici, brièvement résumée, la méthode appliquée dans les sept chantiers d'injection, installés et surveillés par les ingénieurs de la compagnie ; lorsque tous ces chantiers fonctionneront à plein rendement, ils pourront livrer annuellement 139.000 poteaux traités ; ils sont d'ailleurs susceptibles d'extension.

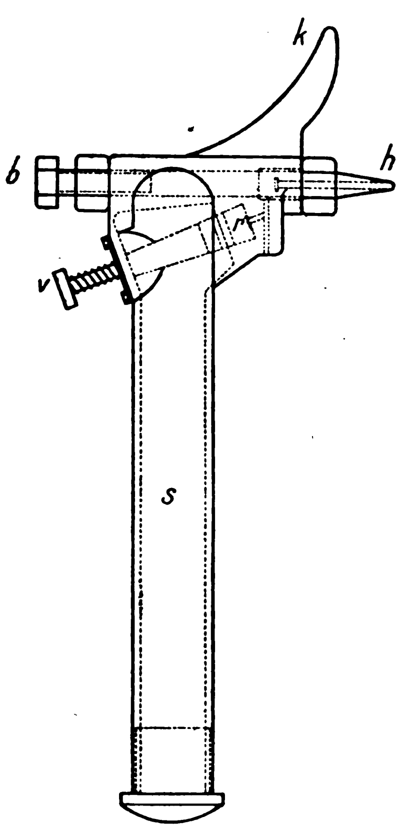
Autant que les circonstances le permettent, on laisse sécher les poteaux pendant six mois au moins avant de les injecter. Le traitement consiste à plonger le pied des poteaux dans des cuves ouvertes à la partie supérieure, de telle manière que le niveau du bain s'élève à un pied (30^{cm}) au dessus de la partie qui sera ultérieurement encastrée dans le sol. La créosote est maintenue à une température comprise entre 212 et 230 degrés Fahrenheit. Les poteaux restent dans le bain chaud pendant 7 heures consécutives au moins. Ensuite, à l'aide de pompes, on remplace rapidement la créosote chaude par de la créosote froide (100 à 110° F) ; le traitement à froid se prolonge pendant 4 heures au minimum.

Le pied des poteaux absorbe la chaleur du bain jusqu'à ce que l'humidité renfermée dans l'aubier s'évapore ou en soit complètement chassée. Pendant le temps très court (7 à 12 minutes) qui s'écoule entre le séjour dans le bain chaud et le séjour dans le bain froid, les surfaces à imprégner restent recouvertes de créosote. Sous l'effet de la créosote froide, la vapeur qui peut subsister encore dans l'aubier se condense ; il se forme un vide partiel dans le bois, vide que le liquide, chassé par la pression atmosphérique, tend à combler.

Grâce à cette méthode, en fin de traitement, l'aubier est saturé dans la proportion de 95 °/₀. Il faut compter sur une consommation de créosote de l'ordre de 2 à 4 gallons par poteau (1 gallon = $4^{l},5$ environ), suivant l'état et la grosseur des bois injectés.

Préservation des poteaux : le « marteau à injecter » (R. Nowotny : *E.T.Z.*, 9 avril 1925). — Pour qu'à l'usage les appuis en bois soient réellement économiques, il est indispensable de les protéger contre la pourriture. Or, même après avoir été

soumis à l'action préservatrice de puissants antiseptiques, les poteaux ne durent pas indéfiniment : quelle que soit la nature du bois, il arrive tôt ou tard un moment où il ne peut résister à l'action nuisible des champignons et où il faut procéder au remplacement des poteaux dont la solidité est compromise.



D'ordinaire, on procède régulièrement à l'inspection des poteaux en service; mais on n'attache pas grande importance aux premières traces de pourriture qui se manifestent au voisinage de la surface du sol : on ne songe pas à combattre le mal dès le début : on assiste passivement à ses progrès et l'on se borne à prévoir l'époque à laquelle il faudra procéder au remplacement des appuis devenus inutilisables.

Il y a quelques années, la société Cobra a imaginé un procédé permettant d'améliorer les conditions d'existence des poteaux déjà attaqués par la pourriture ; ce procédé consiste à injecter le pied des poteaux malades en utilisant des appareils spéciaux construits à Bad-Kissingen dans les ateliers de la société. Il existe trois modèles différents : le premier sert à traiter les poteaux en dépôt dans les parcs : il se déplace sur rails et deux hommes suffisent pour le manœuvrer ; le deuxième modèle permet d'injecter les poteaux après leur mise en place ; enfin le troisième modèle (plus petit que les autres : un seul homme peut le manœuvrer) sert à injecter le pied des poteaux qui accusent des traces de pourriture. En raison de sa forme, ce dernier appareil a reçu le nom de « marteau à

injecter ». Il est représenté schématiquement sur la figure ci-contre. Le manche *s*, en fonte, est creux ; il se termine par une tête dans laquelle passe l'aiguille creuse *h*, de forme elliptique. En se servant de l'appareil comme d'un marteau, on enfonce l'aiguille dans le bois. On peut aussi appuyer l'aiguille contre le poteau et l'y faire pénétrer en frappant avec un maillet en bois sur la tête du boulon *b* ; de cette manière, l'aiguille s'enfonce jusqu'à une profondeur de 3cm,5 environ. Le conduit intérieur de l'aiguille communique par un canal avec l'espace cylindrique *r* toujours empli de la solution antiseptique (fluorure de sodium et dinitrophénol) en réserve dans le manche *s*. En frappant avec le maillet sur le boulon à soupape *v*, on chasse l'antiseptique dans l'aiguille, qu'il suit pour pénétrer dans le bois. En appuyant contre le poteau la pièce saillante *k*, on retire sans difficulté l'aiguille. Le marteau ne pèse guère que 3 kilos ; il est donc d'un maniement facile. Il peut contenir de 400 à 450 grammes de solution antiseptique, quantité suffisante pour effectuer de 150 à 175 injections ; à chacune d'elles, il pénètre dans le bois 3 centimètres cubes environ d'antiseptique (de 2g,5 à 3 grammes).

On commence par dégager suffisamment le pied du poteau ; puis on traite la partie atteinte, ainsi que les parties voisines situées, par rapport à celle-ci, à une distance au moins égale à 5 centimètres dans le sens vertical et à trois ou quatre centimètres dans le sens horizontal. Les parties injectées sont ensuite revêtues d'une couche d'un antiseptique consistant et très actif (celloïde), dont le rôle est de détruire les germes de champignons qui pourraient exister entre les points où ont été faites les injections. On remet ensuite en place la terre provenant des fouilles et l'on dame fortement au pied du poteau.

Peu de temps après le traitement, l'antiseptique se répand autour des piqûres, et progressivement le bois malade s'imprègne jusqu'à une profondeur de 4 centimètres environ. La pourriture du bois se trouve ainsi enrayée, et la durée des poteaux prolongée de plusieurs années.

On peut se demander si le procédé Cobra est économique, si les dépenses résultant de son application sont justifiées. Ces

dépenses sont relativement peu élevées, et il semble que, dans les conditions les plus défavorables, il y ait avantage à recourir à ce procédé.

On a effectué plusieurs expériences et procédé à de nombreux calculs en prenant pour base le prix d'achat et les frais de mise en place des appuis, d'une part, et les frais entraînés par le traitement d'après le système Cobra, d'autre part, et en assignant des valeurs raisonnables à la durée normale des poteaux injectés ou non. Voici quelques exemples typiques.

Un poteau cyanisé s'était conservé en bon état pendant 10 ans. Sur un poteau identique, provenant de la même fourniture, on avait constaté, la septième année, qu'une bonne partie du pied commençait à pourrir. Pour enrayer les progrès de la pourriture, on pratiqua 40 injections dans la partie atteinte ; trois ans plus tard, on constatait la présence de nouveaux champignons, qu'on détruisit grâce à 15 autres injections. Grâce à ces opérations, le poteau resta en place pendant 16 ans. Si, dans chaque cas, on évalue les dépenses globales pour une période de 16 années et si l'on calcule au taux de 9 °/o l'intérêt des sommes ainsi dépensées, on constate que, dans ce cas particulier, le procédé Cobra a permis de réaliser une économie de 11,9 °/o.

Autre exemple : un poteau ne s'était bien conservé que pendant 8 ans. En appliquant le procédé Cobra à un poteau identique et planté en même temps, on est arrivé à enrayer la pourriture qui commençait d'apparaître en plusieurs points après 4, 10 et 12 ans ; il avait suffi pour cela d'effectuer chaque fois une quinzaine d'injections. En pareil cas, l'économie réalisée atteignait 17 °/o.

Évidemment, le bénéfice résultant de l'application du procédé est moindre si l'on table sur un taux d'intérêt plus élevé et si la prolongation de la durée utile des poteaux est plus réduite. Mais on peut admettre que le procédé décrit ci-dessus est économique.

INFORMATIONS.

Observations sur les « concentrations » en téléphonie automatique. — En téléphonie automatique, on fait de la concentration entre les lignes d'abonnés et les premiers sélecteurs, puis de l'épanouissement aiguillé au delà des premiers sélecteurs.

Supposons que les organes destinés à concentrer soient des organes à n broches et à 1 balai.

1° En reliant p lignes à concentrer aux p balais de p organes, on concentre les appels des p lignes sur n jonctions ($n < p$).

2° En reliant n lignes à concentrer aux n broches de p organes, on concentre les appels des n lignes sur p jonctions reliées aux p balais ($n > p$).

Plaçons-nous, par exemple, dans le 1er cas. (Le raisonnement dans le 2e cas serait analogue.) Rappelons les données du premier cas :

$n < p$;
p lignes à concentrer reliées aux p balais ;
n lignes de concentration multiplées sur p organes.

Pour une concentration parfaite, avec une loi de probabilité donnée qu'aucun appel d'une des p lignes ne sera perdu, n est connu en fonction du trafic moyen à écouler sur le groupe des p lignes.

Qu'arrivera-t-il si les disponibilités matérielles ne permettent pas d'avoir des organes à n broches, mais seulement des organes à n' broches ($n' < n$) ?

Il faut alors considérer deux hypothèses, selon que le faisceau des p lignes est divisible en deux faisceaux secondaires sans que les appels émanés de l'un des faisceaux secondaires aient aucun lien avec ce qui émane de l'autre (par exemple *si les lignes p sont des lignes d'abonnés*), ou que le faisceau des p lignes n'est pas divisible selon cette loi d'indépendance absolue (par exemple, si les lignes p sont des jonctions à un étage ultérieur quelconque du bureau : *jonc-*

tions entre chercheurs primaires et chercheurs secondaires ou bien *jonctions entre sélecteurs de district et sélecteur des mille dans un autre bureau*) (1).

Ce n'est que dans la première hypothèse que l'on pourra découper, dans le faisceau p, un faisceau p' ($p' < p$) tel que n' soit ajusté par rapport à p' comme n l'aurait été par rapport à p. Au contraire, dans la deuxième hypothèse, si l'on voulait découper dans le faisceau p, un faisceau p' ($p' < p$), il serait impossible d'admettre que le trafic moyen et le tarif probable du faisceau p' sont dans le même rapport qu'ils l'étaient dans le faisceau p. Par suite, toutes les concentrations qui seraient faites sur des faisceaux tels que le faisceau p' de la deuxième hypothèse seraient entachées d'erreurs systématiques. On peut prévoir que ces erreurs systématiques seraient d'autant plus fortes que le tarif moyen de chaque ligne du faisceau p était plus élevé.

Conclusions pratiques. — Ce que nous venons de dire montre avec quelle prudence il faut raisonner sur les organes dénommés « chercheurs secondaires », « présélecteurs secondaires », « chercheurs de lignes de jonction entre bureaux ».

On peut, il est vrai, tenir compte de l'incertitude que nous signalons en augmentant ou en diminuant volontairement, selon les cas, les nombres fournis par des calculs faits en conservant un taux de probabilité constant, malgré le découpage (2).

L'économie des projets peut subir de ce fait des modifications profondes. Cependant il y a lieu d'être très attentif à opérer ainsi chaque fois qu'il s'agit de faire des découpages dans des groupes de jonctions travaillant à gros rendement en vue d'opérer matériellement une plus grande concentration ultérieure des jonctions qui leur

(1) Jonctions entre deux bureaux urbains, au cas où l'on voudrait faire de la concentration sur ces jonctions.

(2) Par exemple, si l'on a des organes possédant chacun n' broches, on choisira un nombre $n'' < n'$, correspondant à un groupe de p'' lignes au taux de probabilité supposé constant. Pour chaque groupe de p'' lignes, on donnera n'' jonctions propres à ce groupe et $n' - n''$ autres jonctions communes à ce groupe de p'' lignes et à un ou plusieurs autres groupes de p'' lignes. On offre ainsi n' jonctions à p'' lignes, mais le nombre total de jonctions pour K groupes de p'' lignes est seulement égal à $Kn'' + (n' - n'')$. C'est ce que l'on désigne sous le nom de *grading*.

feront suite, car si cette opération n'est pas faite d'une manière satisfaisante l'on est obligé de perdre des appels sur des jonctions terminées accidentellement en impasse ou bien de marquer artificiellement ces jonctions comme « pas libres » sur l'organe précédent, afin d'éviter qu'elles ne soient prises ; même dans ce cas, on diminue la capacité du système. E. Reynaud-Bonin.

Liaison téléphonique New-York — Chicago. — Le câble téléphonique de 861 milles (1385km,6) de long qui relie New-York à Chicago, fournissant un service téléphonique et télégraphique ininterrompu et à l'abri des intempéries, a été achevé à Swanton (Ohio) le 11 août 1925. Ce câble, qui est le plus long du monde et dont la pose a duré sept ans, comporte 447.000 miles (719357km) de conducteurs et représente une immobilisation de capitaux s'élevant à 25 millions de dollars (5 millions de livres sterling ou 532.500.000 francs). Il écoulera simultanément 250 communications téléphoniques et 500 télégrammes. Il est aérien sur 717 miles (1153km,86) et souterrain sur 144 miles (231km,7).

BIBLIOGRAPHIE.

Revista telefónica española, Organo del personal de la Compañia telefónica nacional de España. Dirección : Avenida del C. Peñalver, 5 (Gran via), Madrid.

Cette revue a été fondée il y a six mois environ; nous souhaitons à notre nouveau confrère de longues années de prospérité. Chaque numéro comprend environ 36 pages imprimées avec luxe et illustrées par de nombreuses gravures, dont beaucoup de portraits. Parmi les vues, nous remarquons l'élégante salle du public du central interurbain de Séville, les travaux préparatoires du nouveau central téléphonique de Madrid, etc... On peut lire, de E. C. Laurent, un article sur les répéteurs, avec diagrammes et figures des divers organes ou panneaux. Si donc une partie importante de cette revue concerne l'association des employés, il y a cependant un certain nombre d'articles techniques de haute vulgarisation, qu'on peut consulter avec profit. (Le numéro de juin est le numéro 6.)

The telegraph and telephone journal : vol. XI, nº 125, August 1925) (G.P.O. North., London, E.G.1). — Prix de l'abonnement : 5 s. — Les *Annales* ayant analysé quelques revues américaines, il est juste d'appeler aussi l'attention du lecteur sur le plus important journal télégraphique et téléphonique anglais. Le *Literary Digest* fait une amusante comparaison entre deux familles qui vivent côte à côte dans la même rue, les Jones et les Browns. Chez les Jones, tout est mieux, la maison, les meubles, le mouvement des affaires, il y a phonographe, poste radio, automobile,... et téléphone. Si le rapport des Jones aux Browns en Amérique vaut huit fois le même rapport en Angleterre, alors il y aura huit fois plus de téléphones en Amérique qu'en Angleterre. Rassurons-nous : nous sommes ici dans la maison des Jones. Et en effet, quel est le comité d'édition et d'organisation ? : J. Suart Jones, John Lee,

J. J. Tyrrel, V. A. Valentine, J. W. Wissenden, avec W. H. Gunston pour Managing editor. — C'est dans ce journal anglais qu'on peut apprendre le plus vite les nouvelles qui intéressent le télégraphiste français, comme, par exemple, l'écho d'après lequel le *Financial Times* donne la liste des entreprises qui sont à présent incorporées dans *The International Cable Companies' Association*; suit la liste, où je relève la Compagnie française des câbles télégraphiques, Paris ; et l'on expose quelques-uns des sujets intéressant l'Association qui seront discutés à la conférence télégraphique dont l'ouverture aura lieu le 1er septembre à Paris. Ce sera une vieille nouvelle quand ces lignes paraîtront ; mais notre but n'est pas un reportage. Cet entrefilet se trouve dans les Telegraphic Memorabilia, avec des faits divers, tels que des mises à la retraite de fonctionnaires supérieurs à qui l'on dit un mot d'adieu amical et élogieux, tel M. Sherrington « dont la parole valait signature », ou la reprise du service direct Londres-Vienne, ou des expériences sur les radiogoniomètres, montrant qu'il vont aussi bien en ondes entretenues qu'en amorties, ou des nouvelles de la Royal Society qui nous font savoir, d'après le Prof. Mac Lennan, que la raie verte particulière qui se trouve dans le spectre de l'aurore boréale, et dont l'identification a été si difficile, paraît définitivement appartenir au spectre de l'oxygène ; cette raie prend un éclat particulier quand l'oxygène est mêlé d'un peu d'hélium. Les différents moyens que l'on possède d'analyser la composition chimique de la haute atmosphère ne seront pas de trop pour l'étude scientifique de la propagation des ondes herziennes autour de la Terre. — Il y a, dans ces memorabilia, des renseignements venus de toutes les parties du monde : il y en a de Grèce, de Belgique, d'Allemagne (des décisions de tribunaux concernant les droits des auteurs en matière de radiodiffusion), de Bornéo, de Panama, de l'Afrique du Sud, etc. Cette collection d'informations a été réunie par J. J. T. (M. Tyrrel), qui a justement son portrait en première page, signe avant-coureur de quelque changement dans sa situation personnelle ; M. Tyrrel est l'un des superintendants du Cable Room du C.T.O. (Central telegraph Office). L'article a pour objet de rendre justice à sa collaboration, à ses services et à son caractère ; au surplus, son *portrait* suffit à inspirer la sympathie.

C'est J. J. T. également (puisqu'il faut l'appeler par ces modestes initiales qu'il a rendues célèbres) qui nous donne l'histoire des tarifs internationaux télégraphiques. Je me borne à relever que, du temps de Claude Chappe, le télégraphe s'est appelé d'abord tachygraphe, jusqu'en 1798 ; c'est en 1847 que la France autorisa Jacob Brett à poser, entre Gris Nez et Douvres, un câble sous-marin, qui malheureusement ne dura que quelques heures ; mais le projet fut repris le 23 octobre 1851 par la Compagnie des Télégraphes sous-marins de la Manche. Il est très curieux qu'à l'origine les télégrammes d'un pays pour un autre étaient traduits dans les « stations d'échange » et ce n'est que peu à peu que les télégrammes privés furent admis de droit de pays à pays en transmission directe, sans arrêt à la frontière. Tout l'article est à lire par qui s'intéresse à l'exploitation télégraphique et à son évolution.

Des notes sur la télégraphie pratique nous apprennent les idées qui ont eu cours au Post Office pour le choix judicieux de l'appareil à employer dans les bureaux d'importance secondaire : on a adopté successivement le Wheatstone alphabétique, le sounder, le téléphone. La guerre a mis en relief les avantages de ce dernier moyen : pas d'apprentissage pour la manipulation ; la clé d'appel permet au besoin de télégraphier ; on peut donner des communications directes ; mais le télégraphe est exempt des erreurs d'audition et il est plus rapide. L'avenir paraît appartenir au télétype. M. G. T. Archibald indique les volumes de trafic qui justifient le choix de ces divers appareils.

Mr J. G. Mackay nous fait assister à une des visites organisées récemment en Angleterre pour montrer aux abonnés (ici, à Glasgow) comment s'effectuent, dans les grands centraux, le service téléphonique avec les multiples manuels. Des positions sont agencées pour faire une démonstration complète, pour combattre l'incrédulité de ceux qui, comme saint Thomas, veulent s'assurer de tout par eux-mêmes et qui se demandent si des appels qui n'ont pas abouti ne chargent pas indûment leur compteur. On donne ainsi au public intéressé une plus juste et plus équitable compréhension du service des dames téléphonistes. Il y aurait quelque chose à retenir de cette habile initiative.

Plus loin, quatre photographies illustrent une description du nouveau bureau téléphonique de Weston-super-mare.

Enfin, nous avons un tableau statistique du développement du téléphone en Angleterre.

L'article éditorial fait ressortir la difficulté de donner une juste appréciation du progrès téléphonique dans les villes, à cause de l'arbitraire qui règne dans la définition de la circonscription englobée; si, par exemple, on ne tient compte dans Londres que de la Cité, il y a sept téléphones par habitant, tandis que London (L. C. C. area) donne 12,7 habitants par téléphone, London and suburbs 13,9; Paris donne 14 et avec sa banlieue 19. Copenhague, Berlin, Hambourg ont la plus grande densité téléphonique. Nous ne parlons pas de l'Amérique ; les conditions ne sont guère comparables.

Hic et ubique est une rubrique où l'esprit peut se délasser; le Post Office sait y défendre sa cause à l'occasion : on y enregistre un cas où le téléphone d'un abonné était mis en service trois jours seulement après la demande; cela se passait à Manchester; mais j'ai vu un fait semblable à Paris. Un membre du Parlement (M. P.) contrevient-il à une loi de Georges III en restant au Parlement, après avoir signé un contrat avec le gouvernement, en signant sa police d'abonné? Grave question; seulement ce n'est pas lui qui prend un engagement : c'est l'État ; la loi est donc respectée. Suivent de menus faits ; puis une note sur un journal postal « St. Martins-le-Grand », note spirituelle et sympathique ; une revue bibliographique signalant le livre de William Aitken intitulé : Esquisse de téléphonie automatique : An outline of automatic telephony.

L'article le plus important de ce numéro est sans contredit celui du colonel T. F. Purves, O.B.E., M.I.E.E. C'est la suite d'une série d'articles des plus intéressants, concernant la téléphonie automatique et le Post Office; dans ce numéro, le colonel Purves traite justement du système directeur de l'Automatic Electric C°. Je m'abstiendrai complètement d'analyser cette étude, parce qu'il faut tout lire. Il ne doit pas y avoir de télégraphiste, digne de ce nom, qui ignore encore en France le Telegraph and telephone journal. C'est une des raisons qui m'encouragent aujourd'hui à entreprendre le résumé un peu ingrat que j'offre au lecteur. Je suis en

effet convaincu de la nécessité d'être bien au courant de la littérature technique d'outre Manche ; les nations ne vivent plus isolées; la collaboration scientifique est une condition nécessaire du progrès. Quiconque veut s'en donner la peine peut apprendre facilement assez d'anglais pour lire les ouvrages scientifiques ou techniques : qui refuserait de faire cet effort ? L'anglais est une langue qui paye. Moyennant un travail relativement minime, ce sont des trésors qui s'ouvrent devant vous : on peut très facilement aborder les journaux, et ensuite c'est la plus riche littérature qu'on découvre et qu'il faut lire dans le texte, avec une bonne traduction sous la main, en cas de besoin. Ce sont de magnifiques jouissances qu'il est facile de se procurer. Ce ne sont pas seulement les concerts des stations anglaises de radiodiffusion qu'il s'agit de capter : il s'agit de comprendre l'âme anglaise ; nous sommes toujours des alliés pour la cause de la civilisation. Et vous, télégraphistes, mes frères, lisez T.F. Purves.

Continuons donc notre analyse : Mr W. H. Gunston revient en détail sur la question des circonscriptions téléphoniques et sur le progrès du téléphone dans les grandes villes, statistique détaillée du Royaume Uni.

Pour terminer, un article de Miss M. A. Roach (Bradford) sur le cours d'apprentissage des dames employées au téléphone ; les indications qui y sont données sur la façon, dont les matières sont réparties entre les leçons, dont les explications sont données avec toutes les raisons à l'appui, dont l'enseignement suit la faculté d'attention et la possibilité d'assimilation des élèves, sont à méditer et à retenir. Il y aurait certes un grand avantage à envoyer en Angleterre quelques-unes de nos monitrices assister à ces leçons : elles pourraient profiter de l'expérience acquise, saisir des méthodes un peu différentes des nôtres et comparer les installations d'exercices. Rien ne serait plus utile.

La dernière page est intitulée : Nous autres téléphonistes, nous parlons de toutes sortes de choses. Et dans cette page, en effet, nous trouvons des fantaisies, des vers, de l'humour.

Dans un des numéros précédents, je me rappelle avoir lu à cet endroit une historiette pleine de saveur : il s'agissait du direc-

teur des communications extra-terrestres; un employé du P.O. s'était fourvoyé auprès de lui, et le directeur, tout imprégné de son sujet, énumérait les possibilités qu'ouvre la science moderne; il citait des chiffres empruntés aux théories atomiques modernes, et ces chiffres étaient fantastiques, et l'interlocuteur n'avait qu'une hâte : s'enfuir; il se demandait si le directeur ne devenait pas fou; mais l'autre, imperturbablement, continuait son énumération jusqu'à ce que le jeune homme enfin trouvât le moyen de s'éclipser, effaré; seulement le sel, c'est que tous ces nombres, toutes ces données, dernier cri, qui confondent l'imagination, étaient de la plus scrupuleuse exactitude. J.-B. Pomey.

Lezioni di calcolo differenziale assoluto raccolte e compilate dal dott. Enrico Persico. Leçons sur le calcul différentiel absolu de Tullio Levi-Civita, rédigées par E. Persico. — Rome, Alberto Stock, éditeur, 1925; un vol. de 314 pages.

Les élèves qui suivent à l'École supérieure d'électricité les cours de radiotélégraphie, ont parfois demandé des lumières sur le calcul différentiel absolu imaginé par Ricci et exposé par lui en 1892 dans le *Bulletin des sciences mathématiques*. Déjà le prof. Ricci, en collaboration avec le prof. Levi-Civita, avait fait paraître en 1901 dans les *Matematische Annalen* un mémoire sur les « Méthodes de calcul différentiel absolu et leurs applications ». Depuis cette époque, de nombreux savants ont travaillé cette matière. Le physicien peut en trouver les éléments dans le livre de Laue sur la relativité, dans *Raum*, *Zeit*, *Materie* de Weyl, dans le « report » d'Eddington, et de même dans l'ouvrage de M. Becquerel sur le principe de la relativité et la théorie de la gravitation. Mais enfin il manquait une étude ayant pour objet propre le calcul différentiel absolu et écrite d'une façon didactique, abordable aux élèves qui, par exemple, ont suivi à la Sorbonne les cours de la licence ès sciences mathématiques. Les *Leçons* du prof. Tullio Levi-Civita viennent combler cette lacune, et je suis persuadé qu'elles auront en France un succès mérité. On m'objectera peut-être que le livre est écrit en italien; mais cette circonstance n'est pas de nature à arrêter les mathématiciens; on sait, en effet, combien l'italien

scientifique est facile à comprendre pour un Français, une fois qu'il s'est donné la peine d'apprendre ce que j'appellerai les mots de la grammaire et quelques formes verbales. Il suffit d'acheter de temps en temps un journal italien et c'est sans aucun effort qu'on se trouve bientôt en état de lire les revues italiennes scientifiques. C'est plus rémunérateur que de s'adonner à l'esperanto, malgré l'effort des protagonistes pour faire de cet idiome artificiel la langue neutre universelle appelée à jouer dans les temps modernes le rôle du latin, qui fut la langue commune des savants de tout pays au moyen âge.

Les leçons de Levi-Civita se divisent en deux parties. La première comprend, à titre d'introduction, un rappel des théories mathématiques concernant les déterminants fonctionnels, les systèmes d'équations aux différentielles totales, les équations linéaires aux dérivées partielles, les systèmes complets et la réduction de ceux-ci aux systèmes jacobiens ; tout cet exposé est fait d'une façon magistrale, simple et claire, et tout y est mis à la portée du débutant. Vient ensuite la définition des tenseurs, et seulement après, l'introduction de la forme différentielle quadratique, à laquelle sera liée la métrique. La seconde partie traite du calcul différentiel absolu pour lui-même ; l'auteur définit la dérivation covariante, donne des applications, et introduit les coordonnées localement géodésiques. Le chapitre suivant est consacré aux symboles de Riemann et aux propriétés concernant la courbure. Ce sont ces deux premiers chapitres de la seconde partie qu'il est indispensable de lire pour se familiariser avec la méthode nouvelle. La fin du livre traite des relations entre deux métriques différentes rapportées aux mêmes paramètres et de la variété à courbure constante, des formes quadratiques différentielles de classe zéro et de classe un (on verra là la condition nécessaire et suffisante pour qu'un espace à n dimensions soit euclidien), et enfin de la géométrie intrinsèque comme instrument de calcul. Nous ne saurions trop recommander ces leçons à ceux qui veulent s'initier à la théorie du déplacement parallèle et saisir l'idée qui a présidé à la conception des systèmes dérivés, pour remplacer les dérivées ordinaires de l'analyse courante ; ils y trouverent un enseignement progressif, sans lacunes, se suffisant à lui-même, et d'une limpidité bien italienne.

J.-B. Pomey.

BREVETS D'INVENTION.

28.627. — 4e addition au brevet n° 517.729. — Perfectionnements apportés aux bureaux centraux téléphoniques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

28.692. — 1re addition au brevet n° 572.395. — Système de radiotélégraphie secrète. — M. Jean-Louis Joseph Jammet. — France.

28.785. — 1re addition au brevet n° 564.422. — Récepteur amplificateur de télégraphie ou téléphonie sans fil à lampes à trois électrodes. — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz. — France.

28.788. — 1re addition au brevet n° 569.115. — Perfectionnements aux systèmes téléphoniques pour bureaux centraux. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

28.829. — 1re addition au brevet n° 568.529. — Réseau téléphonique souterrain et aérien avec sous-répartition. — M. Jean Garnier. — France.

28.843. — 1re addition au brevet n° 576.605. — Perfectionnements aux postes de T.S.F. alimentés par le courant du secteur. — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz. — France.

28.847. — 1re addition au brevet n° 564.136. — Boîte de dérivation acoustique plus spécialement applicable aux récepteurs téléphoniques. — M. Charles Tournaire. — France.

28.920. — 1re addition au brevet n° 540.673. — Dispositif de réception pour ondes électriques. — M. Ferdinand Schneider. — Allemagne.

28.926. — 2e addition au brevet n° 577.762. — Dispositif récepteur pour la télévision. — M. Georges Valensi. — France.

28.927. — 3e addition au brevet n° 577.762. — Dispositif récepteur pour la télévision. — M. Georges Valensi. — France.

28.929. — 4e addition au brevet n° 577.762. — Dispositif récepteur pour la télévision. — M. Georges Valensi. — France.

28.945. — 4e addition au brevet no 569.221. — Perfectionnements aux tubes à vide du genre « audion ». — M. François Peri. — France.

28.984. — 5e addition au brevet 557.114. — Perfectionnements aux systèmes de transmission électrique de signaux et analogues, au moyen de courants de fréquence élevée le long des lignes de transport d'énergie. — M. Joseph Bethenod. — France.

28.991. — 1re addition au brevet no 583.333. — Procédé de modulation d'un poste de T.S.F. à ondes entretenues à grande puissance. — Établissements Édouard Belin. — France.

29.003. — 3e addition au brevet no 575.508. — Procédés et montages permettant d'alimenter les audions par du courant alternatif industriel. — M. Raymond Depriester. — France.

29.006. — 1re addition au brevet no 578.528. — Mode d'établissement des grilles de triodes. — M. Jules-Édouard Junot. — France.

29.010. — 1re addition au brevet no 584.276. — Perfectionnements à la fabrication et à l'utilisation des lampes à deux grilles. — Compagnie générale de Télégraphie sans fil. — France.

29.015. — 3e addition au brevet no 571.082. — Variomètre à combinaisons, à grande variation et de faible encombrement. — M. Gabriel Pelletier. — France.

29.016. — 1re addition au brevet no 570.101. — Mode d'attaque des lignes de transmission dans le système de téléphonie à haute fréquence. — M. Marius Latour. — France.

29.090. — 1re addition au brevet no 524.101. — Perfectionnements aux dispositifs récepteurs de T.S.F. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — France.

29.091. — 1re addition au brevet no 581.391. — Perfectionnements dans les arrangements de circuits amplificateurs pour systèmes électriques de signalisation. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

583.029. — Système de téléphonie automatique. — Société dite : Coventry automatic telephones limited et M. Charles Wilfrid Wilman. — Angleterre.

583.037. — Perfectionnements apportés aux dispositifs de montage

des bobines d'induction, dites galettes, utilisées en T.S.F. — M. Paul-Joseph Weber. — France.

Ces perfectionnements consistent principalement, à disposer lesdites galettes dans des supports tels qu'ils permettent, d'une part, le remplacement rapide d'une galette par une autre de self différente, et, d'autre part, le déplacement relatif facile, en vue du réglage, de deux ou plusieurs galettes les unes par rapport aux autres.

583.236. — Perfectionnements aux transmetteurs Wheatstone et autres pour la télégraphie électrique. — Société dite : Creed and Company limited et MM. Frederick George Creed et Ethelred Alfred Wilson. — Angleterre.

583.299. — Perfectionnnement aux stations de réception radio-électrique. — M. Ernest Asser. — Suisse.

583.328. — Récepteur d'ondes électromagnétiques aisément transportable. — MM. Marcia Estabrook Taylor et John Bellamy Taylor. — États-Unis d'Amérique.

583.333. — Procédé de modulation d'un poste de T.S.F. à ondes à grande puissance. — Établissements Édouard Belin. — France.

Jusqu'à ce jour, les systèmes de modulation des ondes entretenues dans les postes de T.S.F. procédaient tous par variations d'intensité dans le courant induit de l'antenne ou dans le circuit de grille, conservant toujours fixe la tension du circuit-plaque. Ces systèmes nécessitaient l'emploi d'une lampe excitatrice, par suite de la variation de tension du circuit de grille.

Le nouveau procédé est, au contraire, basé sur la constance des circuits grille et haute fréquence, et agit par variation de la tension d'alimentation des plaques. Il offre donc, dès l'abord, l'avantage d'éviter l'emploi d'une lampe excitatrice.

Divers montages correspondent au cas où la plaque est alimentée :

a) par convertisseur rotatif donnant une haute tension continue;

b) par du courant alternatif basse fréquence avec survoltage et redressement ;

c) par du courant alternatif basse fréquence avec transformation en haute tension par convertisseur ou transformateur, puis redressement.

583.348. — Dispositif de relais amplificateur permettant la transmission, simultanée ou non, de signaux télégraphiques sur les circuits d'un réseau téléphonique. — M. Paul Joly. — France.

583.352. — Récepteur de T.S.F. particulièrement destiné à la réception en France des radio-concerts. — M. Lucien-Émile Poiré. — France.

583.369. — Détecteur à galène permettant de fixer le chercheur sur le point choisi afin qu'il ne puisse plus se déplacer seul. — M. Henri Marcoux. — France.

583.431. — Perfectionnements aux appareils téléphoniques haut-parleurs. — M. Edward Alfred Graham. — Angleterre.

583.447. — Dispositif pour la réception des signaux télégraphiques. — M. Hervé-Paul Puillandre. — France.

583.465. — Système de couplage de la plaque des lampes à trois électrodes d'amplificateur basse fréquence de téléphonie sans fil. — Société anonyme des téléphones système Picart et Lebas. — France.

583.504. — Perfectionnements au circuit magnétique des récepteurs téléphoniques. — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz. — France.

583.524. — Procédé pour stabiliser la longueur d'onde d'un générateur à tubes thermoioniques et appareil comportant l'application de ce procédé. — M. Émile-Marie-François Fromy. — France.

583.629. — Perfectionnements aux systèmes téléphoniques pour bureaux centraux automatiques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

583.643. — Perfectionnements aux casques serre-tête pour récepteurs téléphoniques. — M. John Macdougall. — Angleterre.

583.689. — Appareil combiné à inductance variable et à capacité variable. — M. Francis Salvator de Barro. — France.

583.690. — Dispositif à combinaison d'inductance et de capacité ou d'inductances et de capacités dans les lampes à plusieurs électrodes. — M. Francis Salvator de Barro. — France.

583.697. — Perfectionnements aux circuits téléphoniques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

583.728. — Perfectionnements dans les appareils de T.S.F. — M. Raymond Ferry. — France.

583.839. — Perfectionnements aux systèmes téléphoniques à appareils commutateurs automatiques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

583.921. — Dispositif anti-parasites pour postes récepteurs de T.S.F. — M. Georges-Hippolyte-Pierre Pigrenet. — France.

Deux enroulements de sens contraire agissent directement sur la membrane de l'écouteur du poste, chacun d'eux étant alimenté de courant par un amplificateur distinct muni de son antenne, et dont l'un est réglé sur la longueur d'onde de l'émission à recevoir, tandis que l'autre est réglé sur une longueur d'onde différente, ces deux amplificateurs étant tous deux influencés par les courants parasites.

584.012. — Boîte de répartition pour câbles électriques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

584.013. — Perfectionnements relatifs aux cadrans d'impulsion pour auto-commutateurs téléphoniques et appareils analogues. — Société dite : Siemens Brothers et Cᵒ limited. — Angleterre.

584.055. — Oscillateur d'ondes courtes à grande puissance. — M. Guy du Bourg de Bozas. — France.

584.062. — Perfectionnements aux appareils téléphoniques. — MM. Théodore Henry Howell et Royce George Ferguson. — Australie.

584.079. — Tube amplificateur pour téléphonie sans fil. — Société dite : Fabrique suisse de lampes à incandescence S.A. et M. Karl Burk. — Suisse.

584.083. — Radiogoniomètre pour ondes courtes. — M. Guy du Bourg de Bozas. — France.

584.085. — Lampes T.S.F. trois grilles. — M. Paul Girardin. — France.

584.094. — Appareil récepteur électrique perfectionné. — MM. Louis Levaillant et Henri Wechlin. — Suisse.

584.099. — Condensateur variable pour la radio-transmission. — M. Rodolphe Walgraffe. — Belgique.

584.185. — Perfectionnements apportés à la transmission des courants à haute fréquence sur une ligne à haute tension. — M. Jean Fournier. — France.

584.276. — Perfectionnements à la fabrication et à l'utilisation des lampes à deux grilles. — Compagnie française de T.S.F. — France.

584.285. — Diviseur du son. — MM. Carl Andersen et Aage Christian Sylvest. — Danemark.

584.323. — Perfectionnements aux dispositifs reproducteurs de sons électriques. — M. Johan Andreas Skinderviken et Société dite : Mikro limited. — Angleterre.

584.604. — Perfectionnements aux systèmes de radiotransmission — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

584.688. — Dispositif amplificateur portatif pour récepteurs téléphoniques. — M. Martin Minne. — Belgique.

584.736. — Antenne portative. — M. Georges Schauly. — France.

584.756. — Perfectionnements aux lampes à trois électrodes. — M. François Péri. — France.

584.790. — Dispositif de montage d'un haut-parleur et d'un microphone, en combinaison, sur un réseau téléphonique. — Société des Établissements Gaumont. — France.

584.818. — Appareil de signalisation électrique. — M. Sidney, Le Fèvre Varvel. — Australie.

584.834. — Perfectionnements aux procédés pour l'essai de transmission des lignes téléphoniques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

584.930. — Haut-parleur à membrane en placages pour T.S.F. — M. René Hoellinger. — France.

584.932. — Haut-parleur téléphonique. — M. Édouard-Henri-François Chateau. — France.

585.125. — Perfectionnements aux casques téléphoniques. — Société dite : Brandes Ltd. — Angleterre.

585.185. — Nouvelle électrode pour tubes à décharge électrique- — M. Ezechiel Weintraub. — France.

585.324. — Dispositif destiné à rendre les réceptions radiotélégraphiques ou radiotéléphoniques plus nettes et plus pures. — M. Jules-Alphonse Lagrange. — France.

L'auteur propose de réunir le filament et la grille de la dernière ou des dernières lampes, au moyen d'un circuit comportant une résistance liquide, circuit qui a pour résultat une amélioration de l'audition.

585.250. — Perfectionnements se rapportant aux systèmes de téléphones automatiques et semi-automatiques. — Société dite : Coventry automatic telephones limited et M. John Edward Collyer. — Angleterre.

585.255. — Perfectionnements dans la production des oscillations électriques de haute fréquence. — Société dite : Marconi's Wirless telegraph company limited. — Angleterre.

585.259. — Perfectionnements aux systèmes téléphoniques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

585.263. — Perfectionnements se rapportant aux systèmes de téléphone. — Société dite : Coventry automatic telephone limited et M. John Edward Collyer. — Angleterre.

585.334. — Perfectionnements aux systèmes télégraphiques synchrones. — Société Morkrum company. — États-Unis d'Amérique.

585.343. — Disposition pour la transmission électrique de signes à distance. — Société : Siemens et Halske Aktien-gesellschaft. — Allemagne.

585.406. — Perfectionnements aux rectificateurs à cristal utilisables en télégraphie et en téléphonie. — MM. Clément Arrigoni, John Arrigoni et Frederick William Cox. — Angleterre.

585.480. — Dispositif pour éliminer l'accouplement magnétique des bobines entre elles. — Société dite : Hazeltine corporation. — États-Unis d'Amérique.

585.492. — Procédé pour la fabrication de cornets pour instruments acoustiques. — Société dite : Inter ocean radio corporation. — États-Unis d'Amérique.

585.521. — Cordon téléphonique. — Société en commandite dite : A. Heiniger et Cie. — Suisse.

585.532. — Antenne multiple. — Société : C. Lorenz Aktiengesellschaft. — Allemagne.

585.593. — Perfectionnements aux meubles pour appareils récepteurs d'ondes sans fil. — M. Edward Alfred Graham. — Angleterre.

585.621. — Dispositif de montage des appareils de T.S.F. à lampes à trois électrodes permettant la réalisation rapide et la comparaison des différents montages et la comparaison des organes entre eux. — M. Émile Denis. — Belgique.

585.623. — Procédé pour la transmission de la parole au moyen d'ondes à haute fréquence. — M. Eric Habann. — Allemagne.

585.733. — Appareil téléphonique de table en forme rhomboïde. — Société dite : Telephon-Apparat-Fabrik E. Zwietusch et Co G. m. b. H. Kommanditgesellschaft. — Allemagne.

585.788. — Perfectionnements aux systèmes de signalisation secrète. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

585.802. — Récepteur haut-parleur pour télégraphie et téléphonie sans fil. — M. François Savoye. — France.

585.838. — Perfectionnements aux méthodes et appareils de réception pour la civilisation électrique. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — France.

585.842. — Perfectionnements aux systèmes téléphoniques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

585.927. — Perfectionnements aux appareils de télégraphie sans fil. — M. Derek Seaton Butler Shannon. — Angleterre.

585.948. — Appareil renforçateur et diffusion de sons. — M. Jean-Albert Brun. — France.

585.961. — Perfectionnemente au montage des écouteurs téléphoniques sur casques. — Société Brunet et C°. — France.

585.971. — Dispositif de protection des sonneries de téléphone à batterie centrale. — M. Pierre Hamy. — France.

586.035. — Appareil permettant de réaliser des connexions multiples de circuits électriques. — M. François-Joseph Grillet. — France.

586.036 — Procédé et dispositif permettant de changer instantanément les bobines de self dans un montage de réception de télégraphie sans fil. — M. François-Joseph Grillet. — France.

586.118. — Récepteur téléphonique. — Compagnie générale de télégraphie et de téléphonie. — France.

586.221. — Perfectionnements aux filtres d'ondes électriques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

586.287. — Perfectionnements à la construction des condensateurs à air variables et des appareils analogues, particulièrement applicables à la téléphonie et à la télégraphie sans fil. — Société dite : Burndept Limited. — Angleterre.

586.288. — Perfectionnements aux détecteurs à cristal pour appareils de réception d'ondes sans fil. — Société dite : Burndept limited. — MM. Charles Francis Phillips et Sandford Frederick Woodell. — Angleterre.

586.343. — Perfectionnements aux appareils de réception et de transmission des sons. — M. Georges Lakhovsky. — France.

586.355. — Dispositif permettant la manœuvre à distance des boutons moletés ou analogues et plus spécialement applicable aux appareils de T.S.F. — M. Alfred de Merolla. — France.

586.381. — Système permettant de transmettre à distance sur les lignes télégraphiques existantes soit des écritures, dessins, etc., soit des signaux Morse. — M. Laurent Semat. — France.

586.416. — Perfectionnements aux oscillateurs en T.S.F. — M. Léon-Gabriel Veyssière. — France.

586 412. — Système de connexion pour réception radiotéléphonique. — M. Reinhard Straumann. — Suisse.

586.479. — Dispositif de fixation des bobinages interchangeables tels que ceux utilisés dans les appareils émetteurs et récepteurs radiotélégraphiques et radiotéléphoniques permettant l'inversion du champ électromagnétique des dits bobinages. — M. Marcel Vanwymeersh. — France.

586.491. — Self pour émission et réception de T.S.F. et son procédé de bobinage. — MM. André-Paul Serf et Roger Saint-Martin. — France.

586.511. — Nouveau montage et nouvel appareillage pour appareil récepteur de signaux radioélectriques. — M. Horace Garfield Waite. — France.

586.527. — Bouchon condensateur pour téléphonie et télégraphie sans fil. — MM. Gustave Ehrardt et Hurdman Lucas. — France.

586.537. — Appareil de signalisation fonctionnant sans aucun contact avec l'objet à signaler. — M. Lucien-Albert Lemainque. — France.

Le principe de cet appareil repose sur l'interception d'un rayon lumineux, par exemple, projeté transversalement à la direction suivie par l'objet ; en pratique, l'émission se composera de deux faisceaux parallèles distants de 50 centimètres environ.

Ces deux faisceaux aboutiront, en face de l'émetteur, sur deux cellules sensibles, formant un couple photo-électrique, de façon à modifier l'intensité d'un courant les traversant ; ces modifications d'intensité seront traduites par deux relais, d'un modèle approprié, pour commander les signaux et les diverses manœuvres, suivant chaque cas particulier.

586.622. — Moyen pour la neutralisation de la capacité de couplage. — Société dite : Hazeltine Corporation. — États-Unis d'Amérique.

586.636. — Procédé de transformation de fréquence pour la radiotélégraphie ou téléphonie. — M. Walter Dornig. — Allemagne.

586.652. — Perfectionnements aux postes à lampes de T.S.F. — M. Maurice Dargent. — France.

586.656. — Perfectionnements aux microphones. — M. Léopold Darimont. — Belgique.

586.706. — Couplage compensateur. — Société : Siemens et Halske Aktien-Gesellschaft. — Allemagne.

586.801. — Perfectionnements dans les systèmes téléphoniques pour bureaux centraux. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

586.885. — Dispositif pour engendrer des impulsions de signalisation. — M. Michael Idvorski Pupin. — États-Unis d'Amérique.

586.933. — Dispositif de signalisation. — Société dite : Walker Signal et Equipment Corporation. — États-Unis d'Amérique.

586.946. — Perfectionnements aux systèmes électriques de transmission par ondes porteuses, utilisant des lignes à haute tension. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

586.972. — Perfectionnements aux dispositifs assurant le secret des conversations téléphoniques, applicables aux appareils des lignes rurales et des lignes à postes groupés. — M. Harry Blaisdell Sherman. — Canada.

586.973. — Perfectionnements à la transmission d'énergie d'ondes pour la signalisation à haute fréquence. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

587.091. — Perfectionnements aux appareils émetteurs ou transmetteurs de sons. — Société dite : The Bristish Thomson-Houston Company Limited. — Angleterre.

587.149. — Mode de montage antiparasite. — M. Lucien Lévy. — France.

587.165. — Nouvelle méthode pour maintenir constante la fréquence des générateurs d'oscillations à haute fréquence. — Société française radio-électrique. — France.

587.233. — Perfectionnements aux circuits téléphoniques non chargés ou circuits similaires. — Société dite : The general Electric Company Limited. — Angleterre.

587.267. — Appareil pour déchiffrement automatique de télégrammes chiffrés. — Société dite : Aktiebolaget Cryptograph. — Suède.

587.290. — Perfectionnements aux systèmes de bureaux téléphoniques. — Société dite : Le Matérel téléphonique. — France.

587.331. — Appareil de signalisation électrique. — M. Jay Warren Clark. — États-Unis d'Amérique.

587.338. — Boîtes de raccordement pour réseaux téléphoniques. — M. Étienne Auran. — France.

587.363. — Procédé d'équilibrage des câbles téléphoniques. — Société dite : Société d'Études pour liaisons téléphoniques et télégraphiques à longue distance. — France.

587.393. — Perfectionnement aux procédés et dispositifs pour la réception de signaux. — M. George William Hale. — Angleterre.

587.400. — Dispositif de haut-parleur pour les appareils téléphoniques. — M. Mika Jean Siméonovitch. — France.

587.409. — Perfectionnements aux dispositifs servant à la transmission d'impulsions électriques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

587.436. — Système d'inscription photographique à l'aide de lampes à ions. — Société anonyme pour l'exploitation des procédés Maurice Leblanc. — Vickers. — France.

587.475. — Montage simplifié de détection et d'amplification simultanées par cristal et valve thermionique en télégraphie et téléphonie sans fil. — M. James-Louis-Karl Schroeder. — France.

587.481. — Nouveau diffuseur haut-parleur. — MM. Armand Zuckermann et Raymond Zuckermann. — France.

587.541. — Transformateur haute fréquence à fer variable et amovible, système Merckel. — Société Veuve Charron, Bellanger et Duchamp. — France.

587.592. — Perfectionnements apportés aux appareils récepteurs téléphoniques. — M. Sidney George Brown. — Angleterre.

587.624. — Atténuation des perturbations atmosphériques par l'utilisation de leur forme. — M. Henri de Regnauld de Bellescize. — France.

587.625. — Dispositif différentiel à frottement pour l'élimination des perturbations apériodiques. — M. Henri de Regnauld de Bellescize. — France.

587.627. — Perfectionnements aux haut-parleurs. — Société des Établissements Gaumont. — France.

587.673. — Mode d'application des enrouleurs de cordons aux postes téléphoniques portatifs. — M. René Baron. — France.

587.676. — Perfectionnements aux récepteurs téléphoniques, spécialement à ceux du type de haut-parleur. — M. Samuel-Emmanuel Witt. — États-Unis d'Amérique.

587.796. — Perfectionnements aux amplificateurs à résonance. — M. Eugène-Pierre-Auguste Rouge. — France.

587.804. — Perfectionnements aux systèmes téléphoniques et semi-automatiques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France

587.852. — Dispositif de réglage pour récepteurs téléphoniques. — Société dite : La Plastose. — France.

587.930. — Perfectionnements aux systèmes de signalisation sur fil. — Ateliers J. Carpentier. — France.

Le procédé a pour but de faire fonctionner des appareils télégraphiques, en utilisant, pour relier deux correspondants, les lignes téléphoniques existantes des réseaux publics ou privés.

Les réseaux téléphoniques seront organisés de telle sorte que les opératrices des centraux téléphoniques, en donnant la communication à deux correspondants, intercalent sur leurs lignes des systèmes renfermant un ou plusieurs transformateurs ou condensateurs en série.

Ces transformateurs ou condensateurs ne permettent pas le passage des courants continus qui constituent les signaux tétégraphiques.

Pour obvier à ces difficultés, on substitue des émissions de courants alternatifs aux émissions de courant continu. La fréquence en est choisie de manière à correspondre à celle des courants téléphoniques qu transmettent habituellement la parole. L'emploi des courants alternatifs offre l'avantage de n'exiger aucune modification des réseaux existants puisqu'ils sont normalement construits pour utiliser des courants semblables.

587.937. — Perfectionnements aux antennes utilisables dans les communications sans fil. — Société dite : Marconi's Wireless Telegraph Company. — Angleterre.

587.940. — Procédé pour diminuer les mélanges de conversations dans les circuits téléphoniques doubles. — Société : Felten et Guilleaume Aktien-Gesellschaft. — Allemagne.

587.943. — Perfectionnements aux modes de supports du diaphragme des téléphones récepteurs ou transmetteurs. — Société dite : Marconi's Wireless Telegraph Company. — Angleterre.

587.946. — Perfectionnements aux procédés d'émission en radiotélégraphie et radiotéléphonie. — Société dite : Marconi's Wireless Telegraph Company. — Angleterre.

587.992. — Perfectionnements dans les systèmes de télégraphie à vitesse élevée. — M. Thor, Gustav Thörnblad. — Suède.

588.030. — Bloc de liaison pour amplificateur à basse fréquence, à valves. — M. Joseph-Antoine Lemouzy. — France.

588.053. — Perfectionnements aux cornets, pavillons et autres



amplificateurs acoustiques pour récepteurs téléphoniques hauts-parleurs et autres appareils producteurs ou reproducteurs de sons. — M. Edward-Alfred Graham. — Angleterre.

588.096. — Membrane vibrante pour appareils téléphoniques. — M. Roger Lenier et Albert Mathot. — France.

588.100. — Perfectionnements aux récepteurs hauts-parleurs. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

588.210. — Perfectionnements aux systèmes radio-récepteurs. — Société dite : The Electric Apparatus Company. — États-Unis d'Amérique.

588.215. — Perfectionnements aux systèmes radio-récepteurs. — Société dite : The Electric Apparatus Company. — États-Unis d'Amérique.

588.244. — Perfectionnements aux appareils serre-tête. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — France.

588.290. — Perfectionnements aux émetteurs et récepteurs téléphoniques. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — France.

588.309. — Dispositif enregistreur de trafic. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — France.

588.357. — Dispositif photo-électrique. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — France.

588.395. — Perfectionnements à l'alimentation directe des postes à lampes radio-récepteurs par réseaux de distribution. — Société : La Radiotechnique. — France.

588.399. — Perfectionnements aux stations de télégraphie sans fil utilisant des alternateurs. — Société française radio-électrique. — France.

588.410. — Dispositif d'amplification du courant produit par action de la lumière sur une ampoule photo-électrique et utilisation de ce courant en vue de la modulation d'un poste émetteur de T.S.F. — Établissements Édouard Belin. — France.

588.411. — Système synchroniseur et déclencheur par fil ou sans fil pour appareils à mouvement circulaire. — Établissements Édouard Belin. — France.

588.424. — Amélioration du coefficient de surtension dans les récepteurs de télégraphie sans fil. — M. Henri-Jean-Joseph-Marie de Regnauld de Bellescize. — France.

588.460. — Nouvelle plaquette pour postes récepteurs de T.S.F. et son mode de montage. — M. Paul Bouret. — France.

588.490. — Dispositif compensateur de réglage pour appareils de radiosignalisation. — M. François-Joseph Grillet. — France.

588.506. — Connexions électriques pour serre-tête téléphonique. — Société dite : Brandes limited. — Angleterre.

588.507. — Condensateur pour T.S.F. — M. Henri Seurat. — France.

588.522. — Écouteur téléphonique. — M. Charles Perrot. — France.

588.543. — Perfectionnements aux récepteurs téléphoniques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

588.596. — Arrangements mécaniques pour la transmission et la sélection des ondes électriques de différentes fréquences. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

588.597. — Perfectionnements aux systèmes téléphoniques pour bureaux centraux automatiques. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

588.702. — Perfectionnements aux systèmes téléphoniques de signalisation. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

588.714. — Perfectionnements aux téléphones et instruments analogues. — Société dite : Marconi's Wireless Telegraph Company. — Angleterre.

588.737. — Système de contrôle d'émissions d'impulsions électriques. — M. Antoine Barnay. — France.

588.930. — Rhéostat de chauffage à double résistance pour appareils de T.S.F. — M. André Thomas. — France.

588.932. — Perfectionnements aux systèmes électriques de signalisation. — Société dite : Le Matériel téléphonique. — France.

588.940. — Appareil pour la transmission à distance des écritures et des dessins. — Societa anonima Teleautografi Midali. — Italie.

588.941. — Poste d'émission haute fréquence à résonance. — Compagnie pour la fabrication des compteurs et matériel d'usines à gaz. — France.



588.954. — Perfectionnements aux circuits et appareillages destinés à l'observation du trafic. — Compagnie française pour l'exploitation des procédés Thomson-Houston. — France.

589.032. — Agencements de circuits pour sélecteurs dans les appareils téléphoniques automatiques. — Société dite : Siemens brothers et C° Limited. — Angleterre.

589.082. — Nouveau procédé radio-communication. — M. Evenor Brard. — France.

589.116. — Perfectionnements aux appareils récepteurs, imprimeurs et transmetteurs télégraphiques. — Société dite : Creed and Company limited et M. Frederick George Creed. — Angleterre.

589.139. — Appareil de commande à distance avec ou sans fil permettant de sélectionner le mécanisme à actionner. — M. Denis-Joseph-André Voulgre. — France.

589.150. — Relais électrique à énergie réglable pour radiographie. — Société anonyme : Établissements Gaiffe-Gallot et Pilon. — France.

589.177. — Perfectionnements apportés aux dispositifs de réglage des instruments employés dans la télégraphie sans fil. — MM. Charles Janes Owen et Sydney Herbert Rawlings. — Angleterre.

589.185. — Bobine oscillatrice à condensateur conjugué pour téléphonie sans fil. — MM. Georges Terroir, Jacques Moreau et Victor Rayer. — France.

589.342. — Dispositifs perfectionnés de circuits pour sélecteurs automatiques employés dans les systèmes téléphoniques. — Société : Siemens Brothers et C° Limited. — Angleterre.

Le Gérant,

Léon EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS. — MCMXXV

14e ANNÉE. — N° 12. DÉCEMBRE 1925. PRIX : 3 fr. 50.

ANNALES DES POSTES TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES

ORGANE MENSUEL PUBLIÉ PAR LES SOINS
D'UNE COMMISSION NOMMÉE PAR M LE MINISTRE
DES POSTES ET DES TÉLÉGRAPHES.



LIBRAIRIE
DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE
3 RUE THENARD PARIS. Ve

Prix de l'Abonnement annuel : France......... 45 francs. Étranger......... 60 francs.

COMMISSION DES ANNALES

DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES.

AVIS.

Les manuscrits adressés aux *Annales* sont soumis à l'examen d'une commission dite *Commission des Annales des Postes et Télégraphes.*

Cette commission se réunit à l'Ecole Supérieure des Postes et Télégraphes, 20, rue Las Cases, Paris, VIIe.

Membres de la Commission:

M. POMEY, Directeur de l'École Supérieure, Inspecteur général des Postes et Télégraphes, Président.

M. A. BLONDEL, Membre de l'Institut, Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées.

Le général FERRIÉ, Membre de l'Institut, Inspecteur Général de la Télégraphie Militaire, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

M. ABRAHAM, Professeur à la Sorbonne, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

M. GUTTON, Professeur à la Faculté des sciences de Nancy, Membre du Comité technique des Postes et Télégraphes.

Les directeurs du Personnel, de l'Exploitation Télégraphique et de l'Exploitation Postale à l'Administration centrale des Postes et Télégraphes.

M. MILON, Professeur à l'Ecole Supérieure, Directeur de l'Exploitation Téléphonique.

M. FERRIÈRE, Inspecteur Général des Postes et Télégraphes

M. AUGIER, Inspecteur Général des Postes et Télégraphes.

M. DIANO, Directeur des Postes et Télégraphes.

M. SAUNIER, Chef de bureau à l'Administration centrale des Postes et Télégraphes.

M. REYNAUD-BONIN, Professeur à l'École Supérieure, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes.

M. VALENSI, Professeur à l'École Supérieure, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes.

MM. TAFFIN, Directeur des Postes et Télégraphes ; CAUCHIE, Inspecteur des Postes et Télégraphes, et LAVOIGNAT, Contrôleur des Postes et Télégraphes, Secrétaires.

M. PAULY, Rédacteur des Postes et Télégraphes, Secrétaire adjoint.

NOTA. La *Commission des Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones* n'est en aucune façon responsable des opinions émises et des théories développées par les auteurs ; elle ne s'immisce pas dans les questions de priorité.

DISPOSITIF MODULOMÈTRE UTILISABLE POUR LE CONTROLE DES ÉMISSIONS RADIOTÉLÉGRAPHIQUES,

Par André BLONDEL,
Membre de l'Institut.

On a souvent besoin, dans les postes émetteurs de télégraphie sans fil ou de téléphonie sans fil, de mesurer l'efficacité de la modulation de fréquence acoustique. Nous supposerons la modulation sinusoïdale.

Soit ω la vitesse de pulsation des oscillations de haute fréquence, β la vitesse de pulsation de la modulation de basse fréquence supposée sinusoïdale ; A et B deux constantes, φ un angle de phase ; les ondes émises présentent en général la loi de variation suivante en fonction du temps :

$$y = \sin \omega t \, [A + B \sin(\beta t + \varphi)].$$

On appellera degré de modulation le rapport $\mu = \frac{A}{B}$.

On peut déterminer constamment ce rapport par le procédé suivant .

On constitue sur une planchette un petit ensemble comprenant, comme l'indique la figure, une triode Z, avec son circuit de chauffage réglable par rhéostat R et voltmètre V ; un milliampèremètre A_d à courant continu du genre d'Arsonval ; un milliampèremètre thermique A_t sensible (par exemple à thermo-élément) ; la batterie de plaques ordinaires B ; une petite batterie de grille B_g, un potentiomètre r permettent de régler avec précision le potentiel de grille, qui doit être rendu convenablement négatif.

On peut d'ailleurs, si l'on dispose d'un oscillographe, brancher son circuit en série dans le circuit de plaque et mesurer A



et B sur la courbe de courant obtenue. Mais il est plus simple de recourir, comme ci-desus, à l'emploi de milliampèremètres.

On fait agir sur la grille la force électromotrice de la self

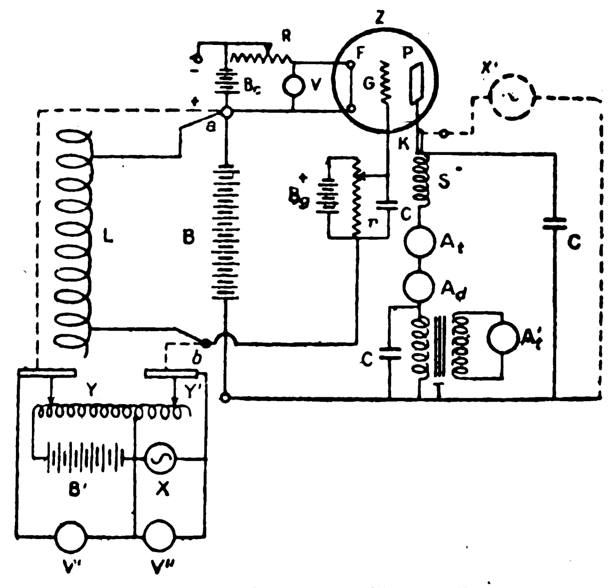


Schéma du dispositif et du procédé pour l'étalonner.

Z, triode réglée en soupape de redressement ; L, self du poste étudié; S, bobine d'arrêt ; B, batteries ; C, condensateurs de $0^{\mu F},002$ environ ; X ou X', alternateur ; T, transformateur de mesure; A_d, milliampèremètre à courant continu ; A_t ou A'_t, milliampèremètres thermiques ; *r*, Y, Y', potentiomètres ; V, V', V'', voltmètres.

d'antenne, ou du circuit excitateur d'antenne, du poste à étudier, en reliant les bornes *a* et *b* à deux points de cette self ou à une bobine couplée inductivement avec elle. Il faut avoir soin que les variations du potentiel de grille qui en résulteront ne dépassent pas dans le sens positif le point de la caractéristique de plaque (en fonction du potentiel de grille) où commence le coude de la saturation.

Les oscillations électriques transmises de L à la grille provoquent dans le circuit de plaque des courants redressés, car les alternances positives passent dans le sens plaque-filament pendant les alternances où la grille est positive ; et les alternances opposées sont arrêtées.

Pour éliminer la haute fréquence du circuit de mesure, on ajoute un condensateur de faible capacité C entre la plaque et le pôle positif de la batterie, et l'on intercale en S une bobine d'arrêt, qui laisse passer seulement les courants de basse fréquence. Dans ces conditions l'ampèremètre A_d mesure l'amplitude du courant redressé moyen I_m de la plaque, représentée plus haut par A, tandis que l'ampèremètre thermique A_t mesure l'amplitude efficace du courant total $I_t = \sqrt{A^2 + \frac{B^2}{2}}$, valeur obtenue en formant l'intégrale de $(A + B \sin \omega t)^2$ pendant une alternance de la pulsation β.

Les ampèremètres ayant été étalonnés de façon que leurs lectures concordent en courent continu, on déduit de ces deux lectures A et B, et par suite le degré cherché de modulation

$$\mu = \frac{B}{A} = \frac{\sqrt{2I_t^2 - A^2}}{A}.$$

Mais quand le rapport $\frac{B}{A}$ est faible, le numérateur n'est pas obtenu avec beaucoup de précision; mieux vaut donc mesurer $\frac{B}{\sqrt{2}}$ directement au moyen d'un petit transformateur série T, à fuites minima, et dont le primaire est intercalé dans le circuit de plaque, tandis que le secondaire est fermé en court circuit sur le milliampèremètre thermique de faible résistance A'_t.

Pour étalonner A'_t avec son transformateur, il suffit de détacher de la plaque par le commutateur K le circuit $A_t A_d$ et de le relier directement à un alternateur X' de pulsation β, comme le montre le tracé en pointillé. En comparant les indications des deux ampèremètres thermiques A_t et A'_t, on réalise l'étalonnage de l'ampèremètre A'_t, et A_t est ensuite inutile; on lira A sur A_d et $\frac{B}{\sqrt{2}}$ sur A'_t.

Les deux ampèremètres pourront même être réunis, comme on sait le faire, en un seul appareil portant une échelle qui donne les valeurs de $\frac{B}{A}$.

Ce même appareil peut mesurer le degré de modulation d'un microphone, en supprimant la bobine d'arrêt S qui devient alors inutile.

Dans ces mesures la modulation sinusoïdale doit être produite par une source de courant alternatif sinusoïdale (alternateur hétérodyne, etc.), afin que la mesure ait une signification précise. Il est bon d'employer comme triode une lampe amplificatrice de puissance, ayant une caractéristique rectiligne étendue, et d'en utiliser la plus grande longueur possible, afin de réduire au minimum l'erreur provenant de la petite partie inférieure courbe. A cet égard, le *redressement* des ondes employé donne une mesure beaucoup mieux définie que celle qu'on pourrait obtenir par une *détection* obtenue à l'aide d'une lampe détectrice, dont le fonctionnement est au contraire limité à la partie courbe inférieure de la caractéristique.

Enfin, tout en donnant à la force électromotrice appliquée à la grille une valeur aussi élevée que possible, on doit la limiter de façon que l'intensité maxima du courant de plaque $(A + B)$ ne dépasse pas la partie droite.

Cette limite d'intensité $A + B$ peut être déterminée d'ailleurs au moment de l'étalonnage, et il n'y a plus qu'à chercher à s'en rapprocher pour le réglage de la force électromotrice appliquée entre *a* et *b*.

On règle le potentiomètre de la grille, en mettant les bornes *a* et *b* en court circuit, et en amenant à zéro (1) les indications des ampèremètres A_t et A_d. La lampe Z peut ensuite fonctionner en valve de redressement, une fois rompue la liaison entre *a* et *b*.

On peut étalonner ou vérifier le modulomètre empiriquement en reliant ses bornes d'entrée *a b* non plus à la self L, mais aux curseurs de deux potentiomètres Y et Y', reliés en

(1) En réalité, si l'on utilise toute la partie rectiligne de la caractéristique, comme cela est désirable, il est plus rationnel de régler le potentiel de grille au point où cette partie rectiligne prolongée coupe l'axe des potentiels de grille; mais alors le courant minimum est un peu supérieur à zéro et doit faire l'objet d'une légère correction.

série et alimentés respectivement par une batterie B′ et un alternateur X. On applique ainsi à la grille une force électromotrice modulée et l'on fait varier à volonté le degré de modulation au moyen de deux potentiomètres ; les tensions A et B prises sur les curseurs de ces derniers sont lues au moyen de voltmètres appropriés V′ et V″.

On pourrait étendre l'application du modulomètre à la mesure des forces électromotrices modulées très faibles, en amplifiant celles-ci préalablement par un amplificateur à triodes à courant continu, notamment à celui que j'ai étudié et décrit en 1920 avec la collaboration de M. Touly et qui donne des amplifications proportionnelles ; c'est une condition nécessaire pour que l'emploi de cet appareil soit légitime.

Remarque I. — Quand les lampes d'émission du poste ont leurs plaques alimentées par un circuit de charge protégé déjà par une bobine d'arrêt, on peut intercaler en série entre cette bobine d'arrêt et les organes d'alimentation de basse fréquence le milliampèremètre de d'Arsonval et le primaire du petit transformateur de mesure alimentant le milliampèremètre thermique, et ainsi connaître directement les amplitudes du courant continu et du courant alternatif fourni à la plaque ; le rapport mesure le degré de modulation.

Remarque II. — Les formules qui définissent plus haut ce degré en fonction de A et B ne sont légitimes que si la modulation ne rend pas le potentiel de plaque négatif, c'est-à-dire tant que $B \leqq A$. Dès que $B > A$, il se produit des coupures dans l'émission et le son reçu à la réception n'est plus sinusoïdal pur, mais accompagné d'harmoniques. Ce cas extrême se présente lorsque les plaques sont alimentées directement par du courant alternatif. La formule de μ donnerait alors $\mu = \infty$, tandis que les appareils de mesure donneront $\mu = \frac{2\sqrt{2}}{\pi}$, rapport du courant efficace au courant moyen.

On peut dans tous les cas continuer à définir μ empiriquement par lesdits appareils, mais en ayant soin de mettre le

circuit secondaire du transformateur en résonance sur la fréquence de l'harmonique fondamentale employé par addition d'un condensateur, et éventuellement d'une self-induction, en série avec l'ampèremètre thermique, dont on réduira le plus possible la résistance propre.

LES DIFFÉRENTS PROCÉDÉS EMPLOYÉS ACTUELLEMENT POUR LA CONSERVATION DES POTEAUX EN BOIS,

Par A. HUGRON,
Ingénieur en chef, directeur des services de la Vérification du matériel des Postes et Télégraphes [1].

Par suite du développement considérable des lignes téléphoniques et télégraphiques et des lignes de transport ou de distribution d'énergie électrique, le nombre des poteaux en bois implantés dans le sol atteint en France un chiffre de plusieurs millions, qui tend à s'accroître constamment.

Il n'existe pas, dans l'administration des P.T.T., de statistique complète des appuis qu'elle possède, mais on estime le total des poteaux en bois implantés à environ 4.500.000.

Les lignes d'énergie électrique sont posées sur des appuis en fer, en ciment, ou en bois ; nous n'avons pas de donnée précise sur le nombre de poteaux de bois implantés à ce titre en France, mais on peut admettre qu'il est de l'ordre de deux millions, ce qui porte à environ 6 millions et demi le total des poteaux en bois implantés actuellement dans le sol de la France.

Étant donné que la majeure partie de ces poteaux est injectée au sulfate de cuivre, nous ne pensons pas que la durée moyenne de ces appuis dépasse 10 ans, ce qui porte à 6 ou 700.000 le nombre annuel moyen des poteaux de remplacement. Une quantité à peu près égale à ce chiffre a été nécessaire pendant ces dernières années pour l'extension des lignes téléphoniques et des lignes d'énergie ; les besoins sont donc actuellement de l'ordre de 1.200.000 à 1.300.000 par an.

L'importation en poteaux étrangers n'a pas pris jusqu'à ce

---

(1) Rapport présenté au congrès international forestier de Grenoble juillet 1925).

jour un gros développement et les industriels français ont dû surtout faire appel à nos forêts de résineux pour y trouver les bois dont ils ont eu besoin. Ils ont été amenés par suite à pousser à fond les exploitations; il n'est pas douteux que, si cet état de choses persistait, le domaine forestier français (privé et d'État) serait bientôt dévasté, en ce qui concerne les résineux. Il y a donc un intérêt général évident à réduire les besoins d'abatage annuels ; pour cela, il faut tâcher de développer les importations ; et en même temps ne faire usage que de poteaux convenablement immunisés contre les causes de destruction. C'est ce dernier point qui fait l'objet de notre rapport sommaire. (J'ajoute que les fournitures de poteaux au titre du plan Dawes diminuent un peu l'acuité de la question au point de vue des forêts).

De tout temps, on s'est préoccupé de préserver les bois contre les causes diverses de sa destruction; dès le XVIII[e] siècle, on traitait les bois par immersion dans les liquides conservateurs, tels que l'alun, le sulfate de fer, des solutions de sel marin, etc...

Nous ne ferons pas ici l'historique de tous les corps que l'on a essayés ou employés ; il y en a plus d'une centaine. Peu à peu leur nombre s'est réduit ; si bien qu'actuellement trois antiseptiques seulement sont employés de façon courante dans le monde entier : le sulfate de cuivre, le bichlorure de mercure et la créosote.

CHAPITRE I[er].

SULFATE DE CUIVRE.

En France, c'est à l'injection au sulfate de cuivre par le procédé Boucherie, que l'on recourut tout d'abord pour protéger les poteaux contre les agents destructeurs et prolonger leur durée. Le monopole qui fut accordé ainsi au procédé Boucherie jusqu'à l'époque de la guerre de 1914 s'explique par le fait que, chez nous, la législation forestière n'interdit pas l'abatage des bois en pleine sève, et que le procédé Boucherie peut dès lors être appliqué dans les conditions les plus favorables et les plus efficaces.

Cependant, il est reconnu depuis de nombreuses années que le sulfate de cuivre n'est pas le meilleur parasiticide, et son emploi donne lieu à un certain nombre de critiques. Ainsi :

1° C'est un sel très soluble, qui est entraîné peu à peu par les eaux de pluie et par l'humidité du sol dans lequel sont implantés les poteaux.

2° Certains champignons ne sont pas détruits par le sulfate de cuivre.

3° Il est nécessaire que le sulfate de cuivre employé soit très pur et notamment qu'il ne contienne pas, ou extrêmement peu, de sulfate de fer. Ce dernier sel, en présence du sulfate de cuivre, réagit, en se peroxydant, sur les parties ligneuses et provoque une altération de celles-ci en diminuant la résistance mécanique et l'élasticité des appuis. Depuis longtemps on a remarqué que les pieds de poteaux injectés au sulfate de cuivre sont rapidement détruits dans les terrains ferrugineux.

Malgré ses défauts et sa valeur antiseptique relativement faible, le sulfate de cuivre est resté, dans l'admistration française des P.T.T., le seul préservatif admis jusqu'à ces derniers temps.

a) **Procédé Boucherie.** — Dans le procédé du docteur Boucherie, on injecte des bois qui viennent d'être abattus en sève ; on chasse cette sève à l'aide d'une pression hydraulique (cuves de pression), et la sève chassée est remplacée au fur et à mesure par la dissolution antiseptique de sulfate de cuivre. Ce procédé est universellement connu.

b) **Procédé par vide et pression.** — Jusqu'à l'époque de la guerre de 1914, l'administration française des P.T.T. s'était refusée à employer pour ses poteaux un autre système que le procédé Boucherie (beaucoup d'industriels d'énergie électrique faisaient venir leurs poteaux, kyanisés ou créosotés, d'Allemagne et de Suisse) ; les besoins nés de la guerre l'obligèrent à recourir au procédé, depuis longtemps connu et employé à l'étranger, de l'injection en vase clos. Les besoins n'ayant fait que s'accroître

pendant ces dernières années, et la préparation par le procédé Boucherie présentant aujourd'hui de grosses difficultés par suite de la nécessité de mettre en injection presque aussitôt après l'abatage, c'est le procédé en vase clos qui fournit la majorité des poteaux des P.T.T.

Mais tous les résineux ne s'injectent pas aussi facilement les uns que les autres. Par le procédé Boucherie, ils s'injectent tous dans de bonnes conditions, tandis qu'en vase clos le sapin et l'épicéa, par suite de leur contexture spéciale, s'injectent très mal et d'une façon irrégulière. Aussi le cahier des charges des P.T.T. proscrit-il l'emploi du sapin et de l'épicéa pour l'injection en vase clos. Les acheteurs avisés ne commandent plus de poteaux en sapin injecté, à moins que ceux-ci n'aient subi un traitement préalable spécial.

Quelques extraits du cahier des charges des P.T.T. — Nous n'avons pas jugé utile de nous appesantir sur la description des procédés Boucherie et en vase clos, qui sont bien connus de toute personne s'intéressant à la question de la conservation des bois. A tire de documentation, nous donnons ci-dessous quelques extraits du cahier des charges dus P.T.T. qui vise ces deux méthodes d'injection au sulfate de cuivre :

« La dissolution, employée à la température ambiante, con-
« tiendra un kilogramme de sulfate de cuivre pour 100 litres
« d'eau. L'eau de mer, les eaux chargées de sels ou de matières
« en décomposition, ainsi que tous les autres liquides impropres
« à l'injection, ne pourront être employés.

« Le sulfate devra être cristallisé et ne pas contenir plus
« de 1 °/₀ de sulfate de fer ; sa teneur en cuivre ne devra pas être
« inférieure à 24,5 °/₀.

« Il est formellement interdit de mettre en injection des
« arbres provenant de forêts incendiées.

« Les écorces provenant des arbres écorcés et des charrois
« seront enlevées au fur et à mesure de leur production, et au
« moins une fois par semaine.

Dispositions applicables au procédé Boucherie. — « Les

« poteaux seront en bois de pin, de sapin ou d'épicéa ; les pins « Lord Weymouth seront exclus.

« Les arbres seront, aussitôt après abatage, transportés au « chantier et mis en injection sans délai. Cette injection devra « être faite dans les conditions suivantes :

« 1° La hauteur à laquelle doit être placée la cuve contenant « nant la dissolution variera avec la longueur des bois à pré- « parer. Cette hauteur, qui sera mesurée entre les longrines « supportant le pied des arbres en préparation et le niveau de « la dissolution dans la cuve supposée remplie aux deux tiers « devra atteindre, au maximum les dimensions suivantes :

Longueur des poteaux.	Hauteur de la cuve de dissolution.
6m,50	6m,50
8m,00	8m,50
9m,00	8m,50
10m,00	10m,50
11m,00	10m,50
12m,50	10m,50
15m,00	12m,50

« 2° Il sera donc exigé dans chaque chantier qu'une cuve « spéciale soit affectée au titrage de la dissolution et que celle- « ci ne soit amenée dans les cuves qui alimentent les pompes ou « les conduites que lorsque le titrage aura atteint le degré voulu « et que le liquide sera redevenu limpide.

« La contenance de cette cuve spéciale ne devra pas être « inférieure à 1·000 litres.

« La dissolution recueillie au pied des poteaux devra être « amenée dans la cuve de titrage et non dans les cuves « d'alimentation.

« 3° Les conduites de pression amenant la dissolution depuis « les cuves jusqu'aux têtes des poteaux devront pouvoir être « nettement distinguées les unes des autres, de façon qu'aucune « erreur de mise d'arbre sous pression ne puisse se produire.

« 4° Il est rigoureusement interdit de réemployer le liquide

« sortant des rigoles et qui peuvent être établies au petit bout.

« 5° Il est absolument interdit d'injecter les arbres par « le petit bout. Tout arbre injecté ou trouvé en injection par le « petit bout sera coupé par le milieu et laissé à l'entrepreneur. « Si le fait se répétait en cours de préparation d'une même four- « niture, le fournisseur pourrait être exclu des adjudications et « concours ultérieurs.

Dispositions applicables au procédé en vase clos. — « Les « poteaux seront exclusivement en bois de pin ou de mélèze; « toutefois les pins Lord Weymouth seront exclus.

« Les arbres seront coupés en forêt de novembre à avril « exclusivement, c'est-à-dire à une époque où la sève ne circule « pas dans le tissu ligneux. Ils seront ensuite soumis dans le « plus bref délai à un écorçage qui facilite la dessiccation et « soustrait le bois à l'action nuisible de l'écorce et à un planage « ayant pour but de faire disparaître le liber et toutes les rugo- « sités. Dans aucun cas, les arbres ne devront séjourner direc- « tement sur le sol ; ils devront reposer sur des longrines en « bois sain et écorcé qui seront remplacées dès qu'elles présen- « teront des traces d'altération ou de végétation mycotique.

« Après le planage, les appuis seront transportés au chan- « tier d'injection pour y achever leur dessiccation. A cet effet, « ils seront empilés « en grille » et leur injection ne pourra « avoir lieu qu'autant qu'ils présenteront un caractère de siccité « suffisant.

« Quelle qu'ait été la durée du séchage, les agents contrô- « leurs détachés par l'Administration sur les chantiers d'injec- « tion auront toute faculté pour apprécier si les arbres sont « suffisamment secs pour être soumis à l'injection. Dans le cas « contraire, l'injection des appuis pourra être différée sans que « l'entrepreneur puisse demander aucune indemnité à un titre « quelconque.

« Pour l'injection, les poteaux seront placés dans un « cylindre convenablement protégé contre l'action corrosive du « sulfate de cuivre.

« Après avoir fermé le cylindre, on y fera le vide au moyen

« d'une pompe à air. Le vide sera maintenu sans pompage pen-
« dant dix minutes et ne devra pas être inférieur à 64 divisions
« à l'indicateur de la colonne de mercure.

« Puis on fera entrer le sulfate de cuivre jusqu'à ce que le
« cylindre soit parfaitement rempli.

« Le parfait remplissage du cylindre sera vérifié à l'aide
« d'un trop plein convenablement disposé dans la partie la plus
« élevée du cylindre, dont le robinet sera ouvert jusqu'à ce
« qu'il y ait écoulement du liquide sans mélange d'air et de
« mousse (liquide clair).

« Le robinet de trop-plein sera alors fermé et les pompes
« foulantes continueront à fonctionner jusqu'à ce que la pres-
« sion d'air puisse être maintenue sans pompage, pendant
« deux minutes au moins, au-dessus de 6 kilogrammes par
« centimètre carré.

« Le cylindre à préparation sera muni des niveaux et
« manomètres suffisants pour permettre de suivre les opérations
« du vide, de remplissage et de compression.

« Les pompes foulantes et la pompe à air seront mises en
« mouvement par un moteur marchant à une vitesse suffisante.

« Il devra être possible d'isoler ces pompes de la cuve pour
« les épreuves visées ci-dessus. »

La durée des poteaux injectés au sulfate de cuivre. — Avant la guerre, on admettait dans les P.T.T. que la durée moyenne des poteaux injectés par le procédé Boucherie était d'environ 14 ans ; certains appuis ont résisté plus de 40 ans ; d'autres, plantés dans des sols particulièrement dangereux, doivent être remplacés chaque année.

La durée moyenne des poteaux injectés au sulfate en vase clos n'a pas encore été déterminée, mais elle semble inférieure à dix ans, soit que les bois employés (surtout en 1918, 1919 et 1920) aient été de mauvaise qualité, soit que l'injection ait été pratiquée dans de mauvaises conditions par certains fournisseurs, soit enfin que les poteaux aient été plantés trop tôt après leur injection.

En tout cas, c'est presque toujours par le pied, quelquefois par le sommet, que périssent les poteaux injectés. La protection du pied, et aussi du sommet des appuis, doit donc être renforcée puisque la sulfatation s'y montre insuffisante.

Protection du sommet des poteaux. — Il faut avoir soin de ne planter les poteaux sulfatés qu'un an après leur injection, c'est-à-dire lorsque la pseudo-minéralisation du bois sous l'action du sulfate de cuivre a eu le temps de se produire. Malgré ce soin, la pluie finit par enlever le sulfate à la tête des poteaux, et en outre y provoque des alternances de sécheresse et d'humidité qui sont pernicieuses.

Pour remédier à ces inconvénients, il suffit de tailler la tête des poteaux en forme de cône présentant une ouverture un peu inférieure à 90 degrés, de recouvrir ce cône d'une couche de peinture à l'ocre et au blanc de zinc, que l'on prolonge de 10 centimètres au-dessous de la base du cône, et d'entretenir cette couverture en passant une nouvelle couche tous les deux ans.

On peut aussi goudronner la tête des poteaux, ou bien les revêtir d'enduits spéciaux qui forment corps avec le bois.

J'ajoute que les considérations précédentes s'appliquent non seulement au sulfate de cuivre, mais à tous les antiseptiques solubles dans l'eau, et notamment au bichlorure de mercure.

Protection du pied des poteaux. — Dans les terrains septiques, mycelés ou ferrugineux, le sulfate de cuivre n'est pas suffisamment efficace.

L'action des terrains septiques a été très nettement mise en évidence, en particulier, par une constatation intéressante faite en 1904 dans les environs de Paris sur une ligne construite en 1901 au moyen de poteaux injectés dans un même chantier et au même moment. Sur les 3.500 premiers mètres les appuis étaient restés indemnes ; mais sur les trois derniers kilomètres les appuis étaient altérés sur toute la longueur de la partie enterrée : le cœur était encore sain, mais l'aubier était complètement désa-

grégé ; l'altération s'arrêtait brusquement au-dessus du niveau du sol, et les réactions chimiques permirent de constater que le sulfate de cuivre imprégnait encore le bois dans toute la partie hors du sol, mais avait disparu de la partie enterrée. Or c'était dans des champs fortement amendés par des gadoues parisiennes qu'étaient plantés tous les arbres altérés, tandis qu'aucun de ceux qui étaient plantés le long de la route ou dans un sol normal n'avait été atteint.

Quant aux végétations mycotiques, leur action est encore plus prompte et, dans certains terrains contaminés, les poteaux ne durent guère qu'un an.

L'injection au sulfate de cuivre est donc, en somme, insuffisante pour protéger dans tous les cas les pieds des poteaux. Aussi l'Administration française des P. T. T. a-t-elle dû, ou bien admettre l'emploi d'autres modes de préservation, ou bien recourir à des moyens supplémentaires de protection des pieds des appuis. Nous analysons plus loin les autres modes de préservation (kyanisation et créosotage) ; pour le moment, nous allons dire un mot des moyens supplémentaires de protection du pied.

Ces moyens supplémentaires peuvent être divisés en trois catégories, suivant le but qu'ils se proposent :

1° On peut revêtir mécaniquement les pieds de poteaux d'une sorte de cuirasse qui les préserve du contact du sol. Cette cuirasse a été souvent critiquée parce qu'elle ne permet pas de sonder ultérieurement par pénétration les pieds des poteaux ; néanmoins ce procédé est assez employé, sous forme d'un revêtement de goudron, de peinture, d'un manchon en ciment, etc... En Allemagne, notamment, et un peu en France, on commence à employer des enduits spéciaux (mélanges de brais agglomérés avec de la craie en poudre) posés à chaud sur le bois et faisant ensuite corps avec lui ; ce sont des matières plastiques qui fondent aux environs de 150°, ne se ramollissent pas sous les plus fortes chaleurs solaires et n'éclatent pas sous les coups de marteau. On a employé le goudron jusqu'à ce jour dans les P. T. T., mais c'est un moyen de protection tout à fait insuffisant.

2° On peut adjoindre au poteau un socle, soit métallique, soit en ciment, pour que le pied du poteau ne soit plus en contact avec le sol. Il a été pris un certain nombre de brevets dans ce sens; quelques-uns sont exploités, mais leur emploi sur les lignes électriques n'est pas encore franchement généralisé.

3° On peut enfin donner aux poteaux une injection supplémentaire limitée à la partie susceptible d'être altérée, c'est-à-dire à la partie enfouie dans le sol, plus quelques centimètres au-dessus de l'encastrement (25 à 50). Cette injection supplémentaire permet le sondage des poteaux et n'augmente pas les difficultés de construction des lignes, soit par une main-d'œuvre supplémentaire, soit par un accroissement sensible du poids des appuis ; ce procédé est donc particulièrement séduisant et avantageux.

En France, des essais ont été pratiqués par les P. T. T., il y a une vingtaine d'années, au moyen d'un produit dénommé *injectol*. C'est un composé d'hydrocarbures et de produits antiseptiques, ces derniers variant avec l'application que l'on veut faire de l'injectol; c'est ainsi que l'injectol employé pour les poteaux a une densité de 1,2, alors que d'autres variétés n'atteignent que 0,8. L'injectol qui fut employé pour les poteaux en 1903 (Adrian) était doué d'une grande puissance de pénétration ; il suffit d'une simple application à chaud (90°) pour que l'injectol s'introduise dans la masse du bois et arrive jusqu'au cœur. Les premiers essais de l'injectol remontent à 1903 et donnèrent de bons résultats. En 1907, un deuxième essai porta sur 500 poteaux, plantés dans des terrains connus comme dangereux; trois ans après, aucun des poteaux injectolés n'avait encore été atteint, tandis que, suivant la nocivité des terrains, les poteaux témoins sulfatés durent être remplacés dans des proportions allant jusqu'à la totalité pour certaines régions. Le prix de cette préservation supplémentaire était assez élevé, puisque, dans une proposition pour 10.000 appuis, il atteignait 70 % de la valeur de l'appui pour les poteaux de 6 mètres et 50 % pour ceux de 8 mètres. Cependant, malgré l'énorme majoration de prix, l'administration des P. T. T. se montra très intéressée par ce

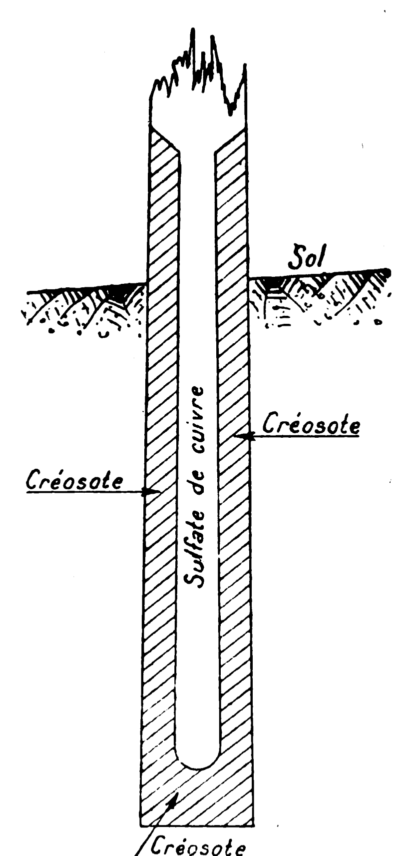
procédé, qui permettait de prolonger la durée des appuis et de réaliser ainsi des économies importantes ; mais, l'auteur du procédé n'ayant plus eu l'air de s'y intéresser lui-même après 1911, la question en resta là.

Le procédé par injection (ou immersion) supplémentaire a été repris en 1915 par la compagnie des chemins de fer du midi, qui injecte au sulfate de cuivre en vase clos tous les poteaux dont elle a besoin pour ses propres lignes télégraphiques et de signaux. Elle a recours dans ce but à la créosote, connue depuis longtemps comme le meilleur préservatif des poteaux. La même méthode a commencé depuis une dizaine d'années à prendre une certaine extension aux États-Unis.

La compagnie du Midi procède par simple immersion dans de la créosote chaude. Les poteaux préalablement injectés au sulfate de cuivre et séchés pendant plusieurs mois, condition essentielle pour la pénétration, sont plongés pendant plusieurs heures dans la créosote (spécification des réseaux français de chemins de fer), chauffée aux environs de 90° sur la longueur que l'on veut immuniser particulièrement vers la base (environ 2 mètres). L'essence employée par cette compagnie est le pin des Landes, bois relativement peu serré ; la profondeur moyenne de pénétration atteint 3 à 4 centimètres. Il est bien évident que, la masse du bois jusqu'au cœur étant déjà immunisée par du sulfate de cuivre, et la base du poteau étant complétement protégée par un fourreau intérieur de créosote, la partie vulnérable du bois sera placée dans les meilleures conditions de résistance. Aussi la compagnie se déclare-t-elle très satisfaite ; elle a remarqué que, sur certains points, assez nombreux, de son réseau où elle était obligée de remplacer les poteaux ordinaires tous les ans, elle n'a plus, depuis 6 ans au moins, à remplacer les appuis créosotés à la base.

Aux États-Unis, en vue de chercher à augmenter la profondeur de pénétration de la créosote, on a recours à un procédé semblable au procédé italien bien connu de Guissani. On plonge d'abord le bois dans un bain de créosote chauffé à une température un peu supérieure à 100° ; puis on remplace, dans la cuve

de traitement, l'antiseptique chaud par un antiseptique froid, ou bien on transporte rapidement le bois dans un récipient contenant de la créosote froide. Le bain de créosote chaude, étant à une température un peu supérieure à 100°, vaporise l'eau et les liquides enfermés dans le bois ; cette eau s'échappe en vapeur, ainsi que l'air qui se trouve enfermé dans les pores. Ceux-ci sont dilatés et renferment encore un peu de vapeur d'eau. Lorsque, aussitôt après (2 à 3 minutes d'intervalle au maximum) on plonge le bois dans la créosote froide, celle-ci pénètre dans les pores, et le bois se contracte en emprisonnant la créosote. Les services forestiers des États-Unis déclarent que les poteaux ainsi préparés doivent avoir une durée moyenne supérieure à 20 ans.



Cette méthode a été reprise par des industriels français, en la perfectionnant. L'administration des P. T. T., se rendant compte que le goudronnage est insuffisant, a admis, il y a quelques mois, qu'elle aurait recours dans l'avenir au créosotage du pied de ses poteaux. Ce créosotage supplémentaire est d'ailleurs beaucoup moins cher que l'application de l'injectol ; la majoration de prix, par rapport au poteau ordinaire injecté au sulfate, n'est que de 20 à 22 °/₀, ce qui est en somme payer assez peu une augmentation importante de la durée des appuis.

Dans les méthodes précédentes de créosotage du pied par immersion, il est impossible de doser à l'avance la quantité de

créosote qui entrera dans un mètre cube de bois, ni la profondeur moyenne de pénétration. Ainsi, on ne peut, même avec des créosotes spéciales et liquides à la température ordinaire, faire pénétrer plus de 50 à 60 kilos de créosote par mètre cube de bois en moyenne dans le pin, qui est l'essence la plus perméable, alors que l'injection normale des poteaux par pression se fait en général, pour donner de très bons résultats, à la dose de 100 à 150 (même 200 kilos) de créosote par mètre cube de bois. Injecter de la créosote à un dosage fixé d'avance, sous pression pour être certain qu'elle pénètre la masse du bois, tout en limitant l'injection à une partie déterminée du poteau, présente des difficultés réelles. Toutefois cet intéressant problème a été résolu industriellement en France depuis quelques mois. Nous en disons quelques mots plus loin, au chapitre du Créosotage.

CHAPITRE II.

BICHLORURE DE MERCURE.

Kyanisation. — Dès 1825, le docteur Kyan conseillait de plonger les bois dans une solution de bichlorure de mercure à 1 °/₀ et de les y laisser tremper pendant 10 à 15 jours selon leur épaisseur. Pendant un certain temps, on craignit que la toxicité du bichlorure de mercure ne vint nuire à l'emploi en grand de ce procédé, mais Faraday démontra qu'il se forme, entre les albuminoïdes de la sève et le bichlorure de mercure, un composé mercuriel insoluble ne pouvant donner lieu, dans les conditions ordinaires, à des émanations nuisibles.

Les conditions de préparation des poteaux par kyanisation sont les suivantes, extraites du dernier cahier des charges de l'administration française des P. T. T..

« Les poteaux sont en bois de pin, de sapin, de mélèze ou
« d'épicéa.

« Avant leur préparation, ils devront avoir été complète-
« ment séchés. Ils seront ensuite soumis à l'examen des agents
« du Contrôle de l'Administration qui auront toute latitude pour

« apprécier si leur siccité est suffisante et s'ils ne présentent « pas de traces d'altération de nature à les faire refuser.

« Pour l'imprégnation, les poteaux seront placés par « couches successives dans des bassins appropriés ; ils devront « y être empilés de telle façon que le liquide d'imprégnation les « entoure de tous côtés. Les bassins d'imprégnation seront pro- « tégés du soleil et de la pluie.

« Le liquide destiné à l'imprégnation sera constitué en « broyant grossièrement du bichlorure de mercure additionné « d'une certaine quantité d'eau ; puis on versera sur le tout de « l'eau bouillante en agitant continuellement de façon à obtenir « une solution qui sera ramenée ensuite, par l'adjonction de la « quantité d'eau nécessaire, à la concentration réglementaire « d'une partie en poids de bichlorure de mercure pour 150 par- « ties d'eau.

« Cette solution sera introduite dans les bacs préalable- « ment garnis de poteaux et en quantité suffisante pour que le « niveau du liquide s'élève à cinq centimètres au moins au « dessus de la couche supérieure des poteaux. Le liquide sera « agité de temps à autre dans les bacs au moyen de dispositifs « appropriés.

« Les bois devront rester immergés dans la solution pen- « dant 200 à 240 heures suivant la saison. Au cas où durant « cette période, la température descendrait à zéro degré centi- « grade, les jours ou il se sera formé de la glace dans le liquide « ne devront pas être comptés dans la durée d'imprégnation.

« La teneur de la solution en bichlorure de mercure devra « être vérifiée chaque jour en vue de s'assurer si elle a bien la « valeur prescrite ; le cas échéant, cette solution devra être « ramenée à la concentration réglementaire.

« L'imprégnation terminée, on soutirera le liquide des « bassins, on fera disparaître le précipité formé à la surface des « poteaux, soit en les rinçant à grande eau, soit par tout autre « moyen ; puis les poteaux seront empilés en grille pour les « laisser sécher.

« Les bassins d'imprégnation devront être parfaitement

« étanches à l'eau. La solution de bichlorure de mercure ne « devra pouvoir venir au contact avec aucune partie en fer. De « même, les autres appareils tels que pompes, etc... devront « être établis exclusivement en matériaux sans action sur le « bichlorure de mercure.

« Les agents du contrôle de l'administration pourront effec- « tuer la vérification de l'imprégnation en prélevant des ron- « delles de bois sur lesquelles sera pratiqué un essai au sulfhy- « drate d'ammoniaque ; la pénétration moyenne du liquide « antiseptique devra être d'au moins trois millimètres. Si au « cours d'un prélèvement de 5 pour 1.000 la profondeur « moyenne accusée était inférieure à trois millimètres, la four- « niture pourrait être refusée. »

La kyanisation est employée industriellement depuis de longues années, surtout en Allemagne. De nombreux distributeurs d'énergie électrique en France ont acheté, bien avant la guerre, des poteaux en sapin et épicéa aux firmes allemandes, parce que ces poteaux étaient cotés comme ayant une durée moyenne de 12 à 15 ans, et surtout parce que ces bois sont en général beaucoup plus droits que les bois des forêts françaises. Pour lutter contre cette concurrence, quelques industriels français ont installé, après la guerre, des chantiers de kyanisation, mais ils sont encore peu nombreux. L'exploitation de ce procédé est d'ailleurs assez délicate.

Les poteaux imprégnés par ce système et qui doivent être parfaitement secs, ne présentent qu'une mince couche immunisée dont l'épaisseur va de 1 à 5 millimètres, suivant que les bois étaient plus ou moins secs, plus ou moins serrés, etc... Cette couche protectrice est évidemment un peu mince ; une éraflure ou une fente un peu profonde se produisant dans la partie la plus vulnérable du poteau, c'est-à-dire au voisinage de l'encastrement, expose celui-ci à tous les dangers d'altération. Aussi les principales firmes allemandes ont-elles cherché depuis longtemps à augmenter la profondeur de pénétration antiseptique.

Kyanisation profonde. — L'action nuisible du bichlorure

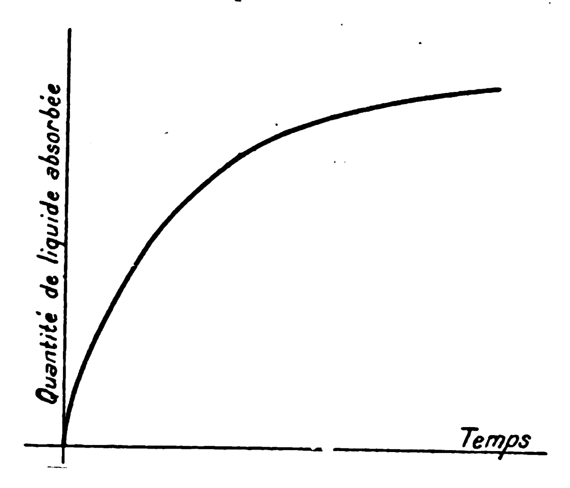
sur les métaux s'opposait à l'emploi des procédés connus par pression. D'autre part, le bichlorure forme, comme nous l'avons dit, au fur et à mesure qu'il pénètre dans le bois, un composé mercuriel insoluble, ce qui empêche progressivement la pénétration, surtout dans les bois à couches serrées. La coloration brune que fait apparaître le sulfhydrate d'ammoniaque est due au sublimé resté à l'état libre dans les cellules du bois ; dans la kyanisation ordinaire, il n'y a plus en général de particules de sublimé libre au delà de quelques millimètres ; plus profondément, cependant, existe ce sublimé à l'état de composé insoluble, que l'action chimique du sel ammoniacal ne révèle pas, et dont on ne peut démontrer la présence que par d'autres méthodes, telles que celles des rayons X. Il était donc prouvé que faire de la pression ne servait à rien. Il faut que le poteau ait subi, au préalable, avant d'être introduit dans la solution antiseptique, une préparation spéciale qui le place dans un état de meilleure réceptivité pour le sublimé ; il faut surtout dilater artificiellement les pores.

L'expérience que nous avons personnellement acquise ces dernières années semble nous avoir montré que, pour obtenir ce résultat, on peut avoir recours à l'un ou l'autre des deux procédés que nous définirons : la méthode humide et la méthode sèche.

La firme allemande qui possède des brevets de kyanisation profonde (diakyanisation) commence par étuver ses poteaux pendant un certain nombre d'heures dans des fours où circule de la vapeur ; aussitôt après, les bois, qui sont encore chauds et dont les cellules sont dilatées par la vapeur, sont immergés dans les bassins d'imprégnation ; il se produit le phénomène connu de condensation amenant un vide partiel et une succion de la solution antiseptique, qui pénètre dans le bois beaucoup plus rapidement et plus profondément que dans la kyanisation ordinaire, mais le processus est le même. L'absorption du liquide est assez brusque pendant les premières heures, ainsi que le montre la forme de la courbe ci-contre, qui représente également la marche du liquide absorbé dans la kyanisation ordinaire.

Dans cette dernière méthode, on estime qu'une durée de 10 jours environ est nécessaire pour que l'opération soit terminée, tandis que 3 à 4 jours suffisent dans la kyanisation profonde.

Cette méthode, employée industriellement par la firme allemande depuis deux ans environ, semble donner de très bons résultats. La profondeur de pénétration est visiblement augmen-



tée par la préparation préalable des bois ; elle est de 10 à 30 ou 40 millimètres, suivant les essences et l'état particulier de chaque poteau.

Le sublimé étant un puissant antiseptique, il est bien certain que les poteaux ainsi préparés auront une longue durée.

Une autre méthode est celle de la voie sèche. Elle consiste à préparer les poteaux par un séchage artificiel à chaud (120 à 130°), assez prolongé, pour chasser toute humidité, toute trace de liquide dans le bois et en dilater les cellules ; puis, au moyen de courants d'air sec, à provoquer volontairement le fendillement assez intense et profond des poteaux. Cette préparation préalable terminée, on introduit à chaud les poteaux dans les bassins d'imprégnation, où ils restent 3 à 4 jours. On a soin, bien entendu, comme dans la kyanisation ordinaire, de ramener toujours la dissolution antiseptique à son titre normal de 1/150.

Cette méthode, que nous avons préconisée et vu appliquer récemment en France, donne aussi d'excellents résultats, que nous croyons même supérieurs à ceux qui sont donnés par l'autre procédé. Les sapins et les épicéas sont imprégnés sur plusieurs (2, 3 ou 4) centimètres ; les pins sont assez facilement imprégnés jusqu'au cœur. Il est hors de doute que les poteaux immunisés dans ces conditions auront une très longue durée.

Il semble également certain que, peu à peu, par la force même des choses, les acheteurs ne voudront plus de poteaux préparés en kyanisation ordinaire et qu'ils tiendront à n'employer que des bois préparés en kyanisation profonde, la majoration de prix qui en résulte n'étant que de l'ordre de 25 °/₀.

CHAPITRE III.

CRÉOSOTE.

On désigne sous ce nom les huiles lourdes provenant de la distillation du goudron de houille, et qui sont employées pour le traitement industriel des bois, en raison de leurs propriétés antiseptiques et de leur insolubilité dans l'eau.

En distillant le goudron, on obtient différentes huiles dont le point d'ébullition est de plus en plus élevé.

1	— Benzol	80°
2	— Benzine	80 à 86°
3	— Toluène	108 à 114°
4	— Xylol	125 à 130°
5	— Cumol	140 à 150°
6	— Solvent naphte	115 à 175°
7	— Benzine lourde	
8	— Pyridine	
9	— Phénol	185 à 190°
10	— Crésol	190 à 195°
11	— Naphtaline	210 à 215°
12	— Huiles de créosote et huiles diverses	240 à 320°
13	— Anthracène	320 à 350°
14	— Brai	au delà de 350°.

On classe industriellement ces produits en trois catégories, qui d'ailleurs chevauchent les unes sur les autres :

huiles légères, renfermant les nos de 1 à 9 ;
huiles moyennes, — les nos de 4 à 13 ;
huiles lourdes, — les nos de 10 à 14.

Une « huile lourde » n'est donc pas une substance nettement déterminée : il faut en définir les spécifications.

L'emploi de la créosote pour les poteaux a été souvent critiqué au point de vue des manipulations par les ouvriers ; on a souvent prétendu qu'elle brûlait la peau et les vêtements. Certaines de ces critiques ont pu être fondées, en partie tout au moins ; tout dépend des spécifications des huiles créosotées, et de la méthode d'injection. En tout cas, il est un fait indéniable : c'est qu'on fabrique et qu'on utilise couramment des poteaux créosotés dans le monde entier.

De nombreux procédés sont employés pour le créosotage des poteaux : les uns, comme le procédé Bethell, sont très anciens et un peu abandonnés ; d'autres ne datent que de quelques années. Nous allons les passer en revue.

Procédé Bethell. — Les bois sont placés dans l'autoclave ; puis on fait le vide pour dessécher le plus possible les poteaux. L'huile créosotée est ensuite introduite dans l'autoclave à 60 ou 70°, et la pression est élevée jusqu'à 7 ou 8 kilos. On vidange, on laisse égoutter une demi-heure dans le cylindre, et on sort les poteaux. C'est le procédé classique de vide et de pression.

Procédé Ruping. — On a reproché au procédé par vide et pression de laisser subsister, dans les cellules du bois, de la créosote liquide libre, estimée inutile ; et d'autre part, il se produisait des exsudations de créosote rendant pénible l'ascension aux poteaux.

Le procédé Ruping, qui aboutit à l'emploi d'un minimum de créosote, tout en assurant la profondeur de pénétration, est actuellement le plus répandu. Il est défini par l'extrait suivant du cahier des charges des P. T. T. belge :

« Les poteaux introduits dans le cylindre, hermétiquement « clos, seront soumis à une pression préalable pouvant atteindre « 4 atmosphères ; la communication sera établie ensuite avec le « cylindre supérieur amené à une pression légèrement supé- « rieure, rempli de créosote et muni d'un serpentin à vapeur « permettant de porter la température de la créosote à 80 degrés « centigrades.

« Lorsque le cylindre d'injection sera rempli, on coupera la « communication avec le cylindre supérieur qui sera ramené à « la pression atmosphérique et on continuera à introduire dans « le cylindre d'injection l'antiseptique au moyen des pompes « foulantes, de manière à maintenir à l'intérieur du cylindre « une pression suffisante pouvant atteindre 10 atmosphères de « façon que l'absorption de la créosote ait lieu jusqu'au cœur « du bois, la quantité d'huile injectée alors ne pouvant en tous « cas pas être inférieure à 200 litres par mètre cube.

« En rétablissant ensuite la communication entre les deux « cylindres, l'air sous pression dans le bois entraînera la créo- « sote absorbée en trop mais la quantité d'huile restant par « mètre cube ne sera, sauf stipulations contraires, pas inférieure « à 125 litres.

« L'opération pourra d'ailleurs être terminée par un vide « final pour retirer la créosote absorbée en excès.

« L'absorption sera constatée par un flotteur qui devra accu- « ser dans le réservoir inférieur une diminution de liquide cor- « respondant à autant de fois 125 litres qu'il y a de mètres cubes « de bois.

« Pour tenir compte de la créosote fournie par le cylindre « supérieur, la créosote sera refoulée à la fin de l'opération, du « réservoir inférieur dans le cylindre supérieur jusqu'à ce que « celui-ci soit complètement rempli, c'est-à-dire qu'il se trouve « dans les mêmes conditions qu'au début de l'opération. »

Je dois ajouter que ce cahier des charges, qui date de 1920, stipulait que la quantité de créosote qui devrait finalement rester dans le bois ne serait pas inférieure à 125 litres par mètre cube de bois. Mais, à la suite de nombreux essais méthodiques,

on a pensé qu'une dose de 100 litres par mètre cube de bois serait suffisante, et c'est le chiffre que l'on adopte aujourd'hui. Dans les P.T.T. belges, on n'accepte que le pin sylvestre ; ceci est une condition restrictive importante.

Procédé de la Société d'électromotoculture (M. Estrade). — Bien que les brevets relatifs à ce procédé n'aient été pris qu'en 1919, son application industrielle remonte à 1904 et s'est poursuivie constamment depuis cette époque.

La caractéristique de ce système consiste dans la provocation du fendillement des poteaux préalablement à l'injection. Cela peut paraître bizarre, et cependant on y est conduit par le raisonnement suivant : Tout poteau en bois écorcé, exposé aux intempéries et aux variations atmosphériques pendant plusieurs années, se fendillera, se fendra fatalement, soit dans le dépôt où il sera conservé avant d'être utilisé, soit après son implantation. Ces fendillements naturels et inévitables peuvent aller jusqu'au cœur du bois. Si l'injection qu'avait reçue ce poteau n'avait pas pénétré toutes les fibres, tous les pores, ou bien si le liquide antiseptique a disparu, ou bien si la valeur antiseptique de la substance injectée a beaucoup diminué depuis la date de l'injection, les fibres profondes voisines des parties fendillées ne seront plus suffisamment défendues contre les attaques des agents destructeurs, et le bois pourrira assez rapidement par suite de la présence de ces régions faibles. Si, au lieu d'attendre ces fendillements qui se produiront inévitablement au bout d'un temps plus ou moins long et peuvent être alors très nuisibles, on les provoque artificiellement dans des conditions bien étudiées et avant injection, la substance antiseptique pénétrera dans toutes les fibres jusqu'au cœur du poteau et celui-ci, préservé dans toute sa masse, ne se fendillera plus ensuite. C'est ce que l'expérience a démontré.

De plus, après l'implantation du poteau, la créosote injectée à forte dose laissera s'écouler l'excès de liquide lentement dans le sol, formant au pied du poteau, dans la partie encastrée, ne sorte de cuirasse protectrice qui empêche le développement

des parasites et des végétations cryptogamiques, ce qui contribue encore à augmenter la durée du support.

Le séchage artificiel et le fendillement sont obtenus dans des fours, où les bois sont soumis à l'action d'un courant d'air sec à la température d'environ 125°. La durée de l'opération varie suivant l'état des bois ; elle est en moyenne de 24 heures. Puis les poteaux sont placés dans un autoclave et soumis à l'action d'huiles créosotées chaudes très fluides, sous la pression de 10 kilos, et jusqu'à refus. Un vide partiel termine l'opération, et les poteaux sont égouttés. Quand ils sortent de l'autoclave, ils ont une teinte noirâtre ; c'est pour cela que depuis longtemps on les appelle « poteaux noirs ».

La pénétration dans le bois sera d'autant plus profonde et facile que l'antiseptique sera plus fluide. Dans ce but, M. Estrade emploie une créosote spéciale, liquide à la température ambiante, et dont les spécifications sont les suivantes, extraites de marchés passés avec les P.T.T. :

« La créosote extraite du goudron de houille ne doit pas « contenir plus de 1 % d'huile bouillant au dessous de 125° C.

« Elle doit bouillir entre 150 et 400°, et au moins 75 % de « sa masse doit bouillir au-dessus de 235°.

« Elle doit contenir au moins 10 % de substances acides « solubles dans une lessive de soude de densité 1,15 (phénols).

« A + 15°, elle doit être complètement liquide et libre de « substances grasses, de telle façon que, versée sur du bois « debout, elle ne laisse rien d'autre qu'un dépôt huileux.

« D'autre part, elle doit être, autant que possible, libre de « naphtaline et ne doit pas en abandonner à + 15°.

« Elle doit contenir tout au plus 1 % d'huile de densité « inférieure à 0,90 tandis que la densité de la créosote elle-même « doit être comprise entre 1,045 et 1,10.

« On doit faire en sorte qu'après l'injection, la créosote « soit complètement retenue dans les pores du bois. La créosote « de goudron de houille peut être mélangée au plus de 15 % « d'huiles extraites de corps bitumeux, mais le mélange doit, « dans tous les cas, présenter des propriétés conformes aux « prescriptions ci-dessus. »

Par la méthode Estrade, le pin absorbe une quantité de créosote qui va jusqu'à 600 kilos par mètre cube de bois ; le prix de tels poteaux serait évidemment prohibitif ; et d'ailleurs, introduire une aussi forte dose d'huile créosotée est complètement inutile. Si donc on veut créosoter des pins, il est plus indiqué de recourir au système Ruping, *à dose convenable. Quant aux sapins et épicéas, ils doivent, obligatoirement, subir une préparation préalable si l'on veut qu'ils s'injectent;* le procédé Estrade est tout indiqué pour ces essences. L'Administration des P.T.T. a passé récemment une importante commande de poteaux préparés par ce système.

Procédé Gilson. — C'est une méthode de créosotage dont l'application industrielle est récente. Elle est basée sur le fait suivant. Si l'on plonge un morceau de bois dans un bain d'huile créosotée portée à une température de 100° environ, les liquides qui imprègnent les tissus ligneux se vaporisent, et s'échappent en dilatant les cellules et les canaux. Cette ébullition terminée, il suffit d'un abaissement de température conjuguée à l'action vide pour assurer à l'intérieur du bois des communications intercellulaires parfaites : la préparation préalable du bois est terminée.

Le procédé industriel se déduit immédiatement de ce qui précède : Les poteaux sont placés dans un autoclave et soumis durant quarante minutes à l'action des huiles créosotées portées à 95° ; on les soumet ensuite à l'action du vide pendant quarante autres minutes. On remplit alors à nouveau l'autoclave d'huile créosotée, toujours portée à 95°, et on élève la pression jusqu'à 8 à 10 kilos à l'aide d'un compresseur. Quand la quantité de créosote déterminée a été refoulée dans le bois, on vidange l'autoclave, puis on continue l'action de l'air comprimé et chaud durant un temps variable suivant les cas pour assurer la pénétration jusqu'au cœur.

CHAPITRE IV.

AUTRES PROCÉDÉS.

Parmi les autres procédés, quelques-uns, peu répandus, constituent des variantes des méthodes décrites plus haut; d'autres, actuellement peu nombreux, utilisent des antiseptiques autres que ceux dont nous avons parlé.

Nous dirons seulement quelques mots de l'*aczol*, du *fluorure de sodium* et de la *basilite*.

Aczol. — Nous avons vu que le principal inconvénient du sulfate de cuivre réside dans sa grande solubilité dans l'eau; aussi le sulfate disparaît-il peu à peu des poteaux sous l'influence dissolvante des eaux de pluie.

Parmi les procédés qu'on a essayés pour fixer le sulfate de cuivre dans le bois, nous citerons l'aczol. Le principe essentiel de l'aczol est la fixation de sels insolubles de cuivre et de zinc dans le bois au moyen de l'ammoniaque avec addition d'acide phénique.

Une solution d'aczol titrant 7 °/₀ de sels contient pour cent litres un minimum de :

400 grammes de cuivre,
250 grammes de zinc,
600 grammes de phénol,

alors que les solutions de sulfate de cuivre habituellement employées, au centième, ne contiennent, pour cent litres, que 260 grammes de cuivre, c'est-à-dire beaucoup moins de principes actifs qu'une solution aczolée.

On utilise la méthode de vide et pression, et on maintient celle-ci jusqu'à ce que les bois aient absorbé deux cent litres environ de solution aczolée par mètre cube de bois.

Fluorure de sodium. — Des expériences de laboratoire, et notamment celles rapportées dans leur important ouvrage par MM. Falk et Moeller, ont eu pour but de comparer l'action des

différents antiseptiques sur le coniophora, qui est, des champignons du bois, celui qui se développe le plus rapidement (des résultats à peu près semblables ont été obtenus sur le penicillium).

Il résulte de ces expériences que la dose nécessaire pour arrêter d'une manière absolue le développement du coniophora est de 1/1.000 pour l'acide phénique, qui est, avec la naphtaline, l'élément antiseptique principal de la créosote. Cette dose est également de 1/1.000 pour le bichlorure de mercure et de 1/1000 pour le sulfate de cuivre. Il résulte de ces chiffres que le sublimé et l'acide phénique ont des pouvoirs antiseptiques à peu près équivalents, mais que le sulfate de cuivre est 10 fois moins actif qu'eux.

On a reconnu également que la dose de fluorure de sodium nécessaire pour arrêter d'une manière absolue, dans un bouillon de culture, le développement du coniophora est de 1/1.000. Le fluorure de sodium a donc à peu près le même pouvoir antiseptique que l'acide phénique et le sublimé; il est 10 fois plus actif que le sulfate de cuivre.

On a constaté enfin que les composés nitrés du phénol ont un pouvoir antiseptique beaucoup plus grand que l'acide phénique et que tous les sels employés jusqu'à ce jour. C'est ainsi que la dose nécessaire pour arrêter d'une manière absolue le développement du coniophora n'est que de 1/20.000 avec le dinitrocrésolate de soude ou le dinitrophénolate de soude.

Le fluorure de sodium, tout en étant 10 fois plus antiseptique que le sulfate de cuivre, est 5 fois moins soluble que lui. Il semble donc devoir lui être préféré.

Il présente en outre, sur celui-ci, l'avantage d'être sans grande action sur le fer et de pouvoir être employé, comme la créosote, dans des installations ne comportant aucun aménagement spécial.

Des essais en grand de cet antiseptique ont été faits pendant la guerre sur des pièces de bois destinées à la Belgique et sur des traverses de chemins de fer. Les résultats obtenus ont été discutés et critiqués. A notre avis, il serait très intéressant de reprendre des essais comparés.

Basilite ou bellite. — Bien avant la guerre, certains ingénieurs, tels que Novotny et Malenkovic, avaient recommandé l'emploi d'un produit à base de fluorure de sodium et désigné sous le nom de basilite ou de bellite. Ce produit est composé d'environ 90 % de fluorure de sodium et 10 % de dinitrophénol-aniline.

Le dinitrophénol-aniline a un pouvoir antiseptique 20 fois plus grand que l'acide phénique ou le sublimé et 200 fois plus grand que le sulfate de cuivre.

Dans le mélange de fluorure de sodium et de dinitrophénol-aniline, le premier, relativement bon marché, est destiné à pénétrer à l'intérieur de la masse du bois et à l'aseptiser ; le second ne pénètre au contraire que peu profondément à l'intérieur du bois et protège celui-ci contre les attaques venant de l'extérieur.

Grâce à une aptitude spéciale, comparable à celle de certaines matières colorantes, la dinitrophénol-aniline adhère fortement aux fibres du bois, qu'elle colore en jaune clair.

Déjà avant 1914, des essais de bellite avaient été faits sur des bois de mines et des poteaux. Sur des poteaux télégraphiques imprégnés en Autriche, on n'aurait constaté, au bout de 7 ans, que 2,8 % de déchets. En Bohême, sur 4.832 poteaux datant de 1910, 28 seulement (0,6 %), auraient été remplacés en 1918. Il semblerait donc intéressant d'envisager la préparation de poteaux en vase clos en utilisant la bellite.

CHAPITRE V.

CRÉOSOTAGE SOUS PRESSION DU PIED DES POTEAUX.

Nous avons vu plus haut que les poteaux injectés au sulfate de cuivre, ou imprégnés en kyanisation ordinaire, ont une durée relativement faible, et il est à peu près impossible aux fabricants, surtout pour les premiers, de garantir un minimum de durée. Se fondant sur la préparation qui se fait dans certains secteurs forestiers des États-Unis, préparation reprise il y a environ dix ans par la compagnie du Midi, l'administration des

P.T.T. a admis, il y a quelques mois, le créosotage du pied (1m,50 à 2m,20).

Jusqu'à ce jour, on a procédé par simple trempage, dans des conditions plus ou moins perfectionnées et avec des huiles plus ou moins fluides (il faut évidemment une créosote bien liquide pour augmenter la profondeur de pénétration); mais le problème du créosotage du pied sous pression, depuis longtemps envisagé, vient d'être résolu industriellement.

La caractéristique du procédé de M. Poulain réside dans l'emploi d'un autoclave qui peut, par un léger effort, basculer autour de deux pivots prévus à cet effet, de façon à prendre la position verticale. Si les poteaux sont introduits sur des wagonnets à l'intérieur de l'autoclave quand il est horizontal, ils peuvent être injectés sous pression dans leur masse, comme dans n'importe quel procédé. Ceci est une première phase : c'est l'injection ordinaire. Les poteaux sont ensuite placés sur des séchoirs jusqu'à ce qu'ils soient suffisamment secs. Puis, pour le créosotage au pied, on les range sur deux wagonnets de telle sorte que les pieds soient d'un même côté, et on envoie le chargement, les sommets à l'avant, dans l'autoclave horizontal. L'autoclave est fermé; et on le fait basculer sur ses pivots à l'aide d'un treuil, de façon à lui faire prendre la position verticale. Le chargement de poteaux est disposé à l'intérieur de telle façon que les pieds des poteaux se trouvent à la base, sur un même plan horizontal où ils sont maintenus. On fait le vide et on le laisse subsister 1/4 d'heure. On laisse alors pénétrer l'air extérieur, puis la créosote à la température d'injection dans l'autoclave jusqu'à la hauteur à laquelle on désire injecter les poteaux. On comprime, à l'aide d'un compresseur, de l'air dans la partie supérieure de l'autoclave; la créosote pénètre dans les pieds des poteaux. On laisse ainsi l'injection se faire sous l'influence de l'air comprimé, jusqu'à ce que les pieds des poteaux aient absorbé la quantité de créosote que l'on s'est imposée.

Le niveau de la créosote est maintenu à la hauteur fixée, malgré l'absorption du bois, à l'aide d'un réservoir « doseur » en communication avec l'autoclave est placé au-dessus du niveau

normal de la créosote contenue dans l'autoclave. Ce réservoir est évidemment en communication, par une tubulure spéciale, avec la partie de l'autoclave contenant de l'air comprimé, de façon à permettre l'écoulement de la créosote malgré la pression. La quantité de créosote absorbée est observée et enregistrée à l'aide d'un niveau placé sur le réservoir doseur. Le bois étant injecté, on ouvre les vannes mettant en communication la créosote avec un réservoir à air libre, dans lequel elle est évacuée. On bascule ensuite l'autoclave pour lui faire reprendre sa position horizontale, et l'on fait sortir le chargement.

Ce procédé est en somme des plus simples. L'emploi de l'air comprimé comme agent de pénétration amène une grande simplicité dans la manipulation de la créosote : aucune pompe à créosote n'est nécessaire.

Nous avons fait procéder à des opérations de créosotage de pieds de poteaux en imposant une hauteur de 2 mètres, et une dose de créosote de 110 kilos au mètre cube de bois avec application de la méthode Ruping ; le résultat a été conforme aux conditions imposées.

Ce système est évidemment très souple industriellement ; il permet, en particulier, d'employer la méthode Ruping, qui est aujourd'hui adoptée partout. D'autre part, il permet de créosoter, à la hauteur que l'on veut et au dosage que l'on veut, les pieds de poteaux dont le fût a déjà reçu une injection par un procédé quelconque, qu'il s'agisse de poteaux injectés au procédé Boucherie, ou en vase clos, ou de poteaux traités en kyanisation ordinaire, ou même de poteaux dont le fût a reçu une injection de créosote à faible dose.

N'oublions pas, en effet, que la partie aérienne d'un poteau injecté se conserve longtemps (20 à 25 ans en moyenne) même lorsqu'elle a été immunisée avec un antiseptique peu puissant (sulfate de cuivre) ou bien lorsqu'elle a été superficiellement imprégnée d'un puissant antiseptique (kyanisation ordinaire), ou enfin lorsqu'elle a été injectée d'une faible dose de créosote (60 à 70 kilos au mètre cube) ; c'est donc dans la partie qui résiste le moins aux attaques de toutes sortes et aux gros efforts

mécaniques que nous devons *surtout* appliquer les moyens de préservation, de façon à assurer aux deux parties constitutives du poteau (partie aérienne, partie encastrée) des durées à peu près égales. De cette façon, sera réalisé *un poteau rationnel* et de longue durée.

THÉORIE DU RÉGULATEUR DOIGNON-MENDONÇA-D'OLIVEIRA,

Par Pierre DOIGNON,
Ingénieur-constructeur.

Soient r le rayon de la poulie folle,
m la masse du support des frotteurs,
f le coefficient de frottement,
Ω la vitesse angulaire de la poulie folle,
ω la vitesse angulaire des frotteurs,
T la force de tension du ressort,
C le couple résistant ($C = F_r \times r$ en m),
F_r la force résistante appliquée en m.

Fig. 1.

L'équation du mouvement est la suivante :

T_f = travail de frottement = travail résistant T_r.

Or $$T_f = (T - m\omega^2 r) f \times r(\Omega - \omega),$$
$$T_r = F_r r \omega = C\omega;$$

donc : $$(T - m\omega^2 r) fr(\Omega - \omega) = F_r r\omega = C\omega, \quad (1)$$

ou, en divisant par r : $(T - m\omega^2 r) f(\Omega - \omega) = F_r \omega$.

Remarquons tout de suite que, Ω étant la vitesse de l'organe frotteur et ω celle de l'organe entraîné par frottement, on a toujours nécessairement : $\omega \leqslant \Omega$.

C'est cette équation (1) qui va nous permettre d'étudier le mouvement.

1er Cas. — Cherchons les variations de ω lorsque Ω varie; ou inversement, ce qui sera plus simple, étudions la courbe : $\Omega = f(\omega)$.

On a :

$$\Omega = \omega\left[1 + \frac{C}{fr(T - m\omega^2 r)}\right] = \omega\left[1 + \frac{F_r}{f r.(T - m\omega^2 r)}\right]. \quad (2)$$

Cherchons

$$\frac{d\Omega}{d\omega} = 1 + \frac{F_r(T + m\omega^2 r)}{f(T - m\omega^2 r)^2}, \qquad (3)$$

qui est toujours positif.

Nous avons donc le tableau suivant pour $\Omega = f(\omega)$, en ne considérant que les *valeurs positives* de ω :

ω	o		$\sqrt{\frac{T}{mr}}$			$+\infty$
$\frac{d\Omega}{d\omega}$	$1 + \frac{F_r}{f}$	$+$	$+\infty$ ‖		$+$	1
Ω	o	croît	$+\infty$ ‖	$-\infty$	croît	$+\infty$

Seule, la partie entre o et $\sqrt{\frac{T}{mr}}$ nous intéresse. Nous avons donc la courbe ci-dessous :

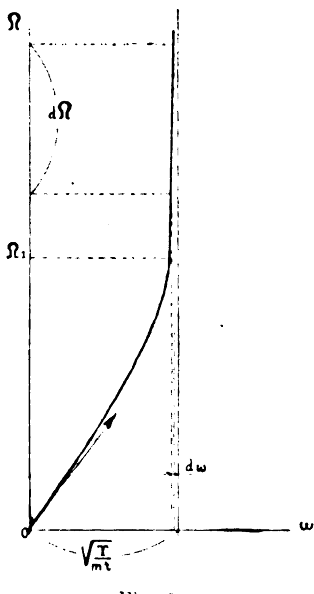


Fig. 2.

Nous voyons sur cette courbe qu'à partir d'une certaine valeur Ω, pour une très grande variation de vitesse $d\Omega$ on a une très petite variation de vitesse $d\omega$. Comme on le voit d'ailleurs,

pour ces valeurs, ω est très voisin de l'asymptote $\sqrt{\frac{T}{mr}}$. Si nous prenons alors $T - m\omega^2 r = \varepsilon$,

on a, d'après (3) : $\frac{d\Omega}{d\omega} = 1 + \frac{F_r(2T - \varepsilon)}{f\varepsilon^2}$,

ce qui montre que $\frac{d\Omega}{d\omega}$ est aussi grand que l'on veut lorsque ε tend vers o.

En prenant donc, pour Ω, une valeur minima Ω_1 suffisamment grande, on pourra faire varier Ω de Ω_1 à $+\infty$, pendant que la variation correspondante de ω sera très petite.

En supposant donc que nous pouvons tolérer, à la vitesse ω de l'appareil à régulariser, une variation $\pm d\omega$ très petite, on pourra, en employant ce régulateur, lui faire correspondre une variation de vitesse de la poulie folle, c'est-à-dire du moteur, $d\Omega$ très grande ; et inversement, pourvu que la vitesse du moteur soit supérieure à une certaine limite inférieure, ladite vitesse du moteur pourra varier dans de très grandes proportions et ne provoquer, pour la vitesse de l'appareil à régulariser, que des variations infimes.

Remarques. — Remarquons qu'en réalité, au début du mouvement, lorsque Ω part de o, la courbe représentative de ω n'est pas celle que nous venons de décrire.

En effet, si nous appelons f' le coefficient de frottement au repos, c'est-à-dire tant qu'il n'y a pas de glissement, lorsque Ω part de o et croît, la vitesse restera la même que Ω

$$\Omega = \omega$$

tant que le travail résistant sera inférieur au travail maximum de frottement au repos ; pendant toute cette portion du mouvement, nous aurons adhérence des frotteurs sur la poulie folle sans glissement, c'est-à-dire que

$$\begin{cases} \Omega = \omega, \\ (T - m\Omega^2 r) f' r\Omega \geqslant F_r r\Omega, \end{cases}$$

ou :

$$(T - m\Omega^2 r) f' \geqslant F_r.$$

La valeur Ω' de Ω telle que

$$T - m\Omega^2 r = \frac{F_r}{f'}$$

est la valeur critique à partir de laquelle il y aura glissement.

Cette valeur est : $\Omega' = \sqrt{\frac{f'T - F_r}{f' m r}}$.

Remarquons qu'en général F_r est petit devant $f'T$, si bien que,

si nous appelons $\Omega'' = \sqrt{\frac{T}{mr}}$,

on aura : $\Omega' = \Omega'' - \varepsilon$,

ε étant très petit.

Nous voyons donc que tout d'abord nous suivons la droite

$$\Omega = \omega$$

jusqu'à la valeur Ω' et non pas la courbe $\Omega = f(\omega)$.

Au point critique Ω' le coefficient de frottement change : de f' qu'il était (frottement au repos), il passe à f (frottement en mouvement) ; et l'on a : $f' > f$.

Puisqu'il y a glissement, le coefficient étant f' au début de cette continuité et f à la fin ($f' > f$), nous voyons que, si nous considérons l'équation (2) du mouvement :

$$\Omega = \omega \left[1 + \frac{F_r}{f(T - m\omega^2 r)}\right],$$

la valeur de Ω augmente lorsque le coefficient f diminue, ceci pour une valeur constante de ω. Autrement dit, le point représentatif de Ω décrit à peu près une verticale ($\omega = \Omega'$), et ceci jusqu'à ce qu'il ait atteint la courbe $\Omega = f(\omega)$ que nous avons étudiée en premier.

En d'autres termes, on peut dire que la courbe $\Omega = f(\omega)$

$$\Omega = \omega \left[1 + \frac{F_r}{f(T - m\omega^2 r)}\right]$$

représente toujours le phénomène. Si, tant qu'il y a adhérence, on suppose le coefficient de frottement f infini, on a la courbe $\Omega = \omega$. A partir de $\omega = \Omega'$, f diminue jusqu'à sa valeur normale. Pendant ce temps, ω reste constant et Ω croît jusqu'à atteindre la partie de la courbe qu'elle suit ensuite jusqu'à l'infini.

La représentation graphique du phénomène est la suivante (fig. 3). On suit d'abord la droite AB; puis en B il y a discontinuité et on rattrape en B la courbe $\Omega = f(\omega)$ que l'on suit alors.

Remarquons d'ailleurs que le point B est obtenu en faisant

$$\omega = \Omega' = \sqrt{\frac{f'T - F_r}{f'mr}}$$

dans la fonction $\Omega = f(\omega)$;

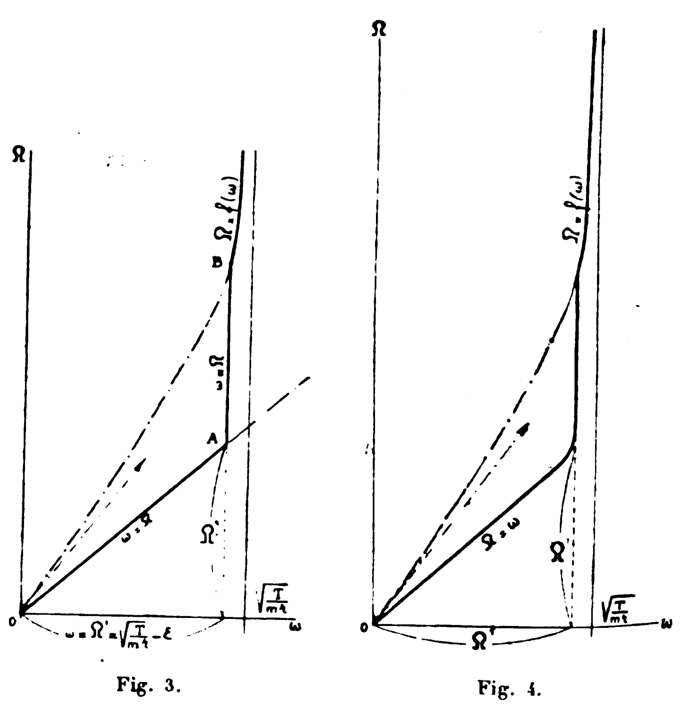


Fig. 3. Fig. 4.

on trouve pour B :

$$\Omega = \sqrt{\frac{f'T - F_r}{f'mr}}\left[1 + \frac{f'}{f}\right],$$

ou :

$$\Omega = \Omega'\left(1 + \frac{f'}{f}\right).$$

On voit donc que la longueur de la discontinuité

$$AB = \Omega'\frac{f'}{f}$$

est d'autant plus petite que le coefficient de frottement au repos f' est plus voisin du coefficient de frottement en marche f. De toute façon, comme $f' \geqslant f$, on voit que la discontinuité AB est au moins égale à Ω'.

Terminons en disant que c'est une supposition que nous faisons lorsque nous disons que la courbe représentative est la droite AB. Comme il est impossible que, dans tous ces phénomènes, on ait des discontinuités, et qu'il faut au contraire envisager des variations continues, il est plus plausible que le coefficient de frottement f varie progressivement de sa valeur f' à sa valeur f et que la courbe de représentation a l'allure représentée sur la figure 4.

Quoi qu'il en soit, nous voyons néanmoins que, lorsque Ω varie de Ω' à l'infini, ω varie de Ω' à $\sqrt{\frac{T}{mr}}$, c'est-à-dire que :

$$d\omega = \frac{F_r}{\sqrt{f'mr}\left[\sqrt{f'T - Fr} + \sqrt{f'T}\right]},$$

ce qui nous montre que d ω sera *d'autant plus petit, c'est-à-dire que la sensibilité du régulateur sera d'autant plus grande, que:*

F_r sera plus petit,
f' plus grand,
m plus grand,
r plus grand,
T plus grand.

On a donc intérêt à ce que la force résistante de l'appareil soit le plus faible possible, à ce que le coefficient de frottement, les masses qui frottent et le rayon de la poulie folle, soient le plus grands possible.

2e Cas. — Cherchons les variations de ω lorsque la force résistance F_r varie (travail résistant variable), en supposant que la vitesse Ω de la poulie folle reste constante. La courbe $F_r = f(\omega)$ est représentée par l'équation :

$$F_r = \frac{f}{\omega}(\Omega - \omega)(T - m\omega^2 r). \qquad (4)$$

Étudions la dérivée :

$$\frac{dF_r}{d\omega} = f\frac{2m\omega^3 r - mr\Omega\omega^2 - T\Omega}{\omega^2}. \qquad (5)$$

$\frac{dF_r}{d\omega} = 0$ pour deux valeurs imaginaires de ω et pour une valeur positive ω_1, qui est un minimum pour F_r.

$F_r = 0$ pour $\omega = \Omega$ et $\omega = \pm\sqrt{\frac{T}{mr}}$.

Nous ne considérons que les valeurs positives de ω; de plus, par hypothèse, on a : $\omega < \sqrt{\frac{T}{mr}}$,

c'est-à-dire que $0 < \omega < \sqrt{\frac{T}{mr}}$.

Cherchons si ω_1 est plus grand ou plus petit que $\sqrt{\frac{T}{mr}}$. Le calcul montre : $\omega_1 < \sqrt{\frac{T}{mr}}$ si $\Omega < \sqrt{\frac{T}{mr}}$,

$$\omega_1 > \sqrt{\frac{T}{mr}} \text{ si } \Omega > \sqrt{\frac{T}{mr}}.$$

Or nous avons vu, dans le 1[er] cas, que l'on faisait en sorte, pour bien fonctionner, que Ω soit sur la courbe $f(\omega)$ (partie BC). Par conséquent, nous nous arrangerons pour que toujours

$$\Omega \geqslant \sqrt{\frac{T}{mr}}.$$

Dans ces deux cas envisagés, on a les deux courbes suivantes :

a) si $\Omega > \sqrt{\frac{T}{mr}}$:

ω	0		$\sqrt{\frac{T}{mr}}$		ω_1		Ω		$+\infty$
$\frac{dF_r}{d\omega}$	$-\infty$	$-$			0				$+\infty$
F_r	$+\infty$	décr.	0	décr.	min.	cr.	0	cr.	$+\infty$

pour $\omega = \sqrt{\frac{T}{mr}}$, on a $\frac{dF_r}{d\omega} = 2fmr\left[\sqrt{\frac{T}{mr}} - \Omega\right]$,

ce qui donne la courbe de la figure 5.

b) si $\Omega = \sqrt{\dfrac{T}{mr}}$, pour $\omega = \sqrt{\dfrac{T}{mr}}$, on a : $\dfrac{dF_r}{d\omega} = o$,

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{T}{mr}},$$

ce qui donne la courbe de la figure 6.

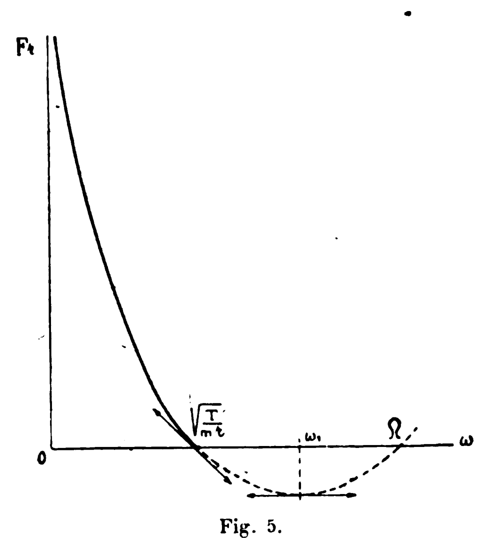


Fig. 5.

Fig. 6.

c) si $\Omega < \sqrt{\dfrac{T}{mr}}$, alors $\omega_1 < \sqrt{\dfrac{T}{mr}}$; et, comme F_r s'annule pour Ω et $\sqrt{\dfrac{T}{mr}}$, il s'ensuit que l'on doit avoir forcément :

$$\Omega < \omega_1 < \sqrt{\frac{T}{mr}}.$$

Dans ce cas, la courbe comprise entre $o < \omega < \Omega$ est à envisager, et l'on a la courbe de la figure 7.

Pour $\omega = \Omega$, on a $\dfrac{dF_r}{d\omega} = \dfrac{f}{\Omega}[m r \Omega^2 - T]$.

D'une façon générale, nous avons :

$$\frac{dF_r}{d\omega} = f\left[2 m \omega r - m \Omega r - T\frac{\Omega}{\omega^2}\right].$$

Nous voyons que, pour une variation donnée de F_r dF_r, la variation résultante de vitesse $d\omega$ sera d'autant plus faible que :

f sera plus grand,
m plus grand,
ω plus grand,
r plus grand.

On a donc intérêt à ce que le coefficient de frottement f que la

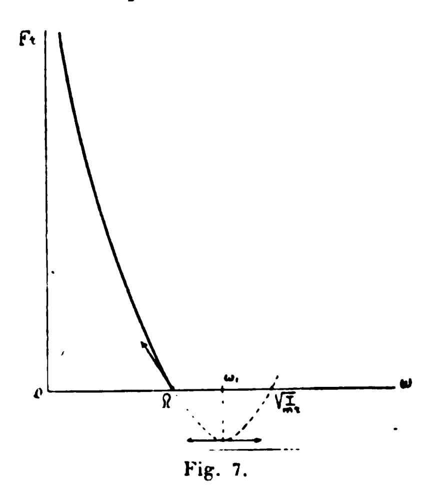


Fig. 7.

masse frottante, que le rayon de la poulie folle et que le régime de vitesse du régulateur soient le plus grands possible.

Procédé pour faire varier la vitesse du régulateur. — Comment maintenant pouvons-nous faire varier la vitesse ω du régulateur étant donné que nous avons un régime dans lequel F_r, f, T, Ω sont données et sensées constantes ?

Nous pouvons soit faire varier m, soit faire varier r.

a) *Variation de m.* — L'équation (1) donne :

$$(T - m\omega^2 r) f (\Omega - \omega) = F_r \omega,$$

qui donne : $$m = \frac{T}{\omega_2 r} - \frac{F_r}{\omega r f (\Omega \omega)} = \frac{T f \Omega - \omega (F_r + T f)}{\omega^2 r f (\Omega - \omega}.$$

Prenons la dérivée : $$\frac{dm}{d\omega} = \frac{-2 T f (\Omega - \omega)^2 + F_r \omega (\Omega - 2\omega)}{f r \omega^3 (\Omega - \omega)^2},$$

qui est négative. Donc lorsque m augmente, ω diminue. Et ceci est déjà un procédé de réglage de la vitesse, qui consiste à augmenter ou diminuer la masse des porte-frotteurs (en avançant

ou en reculant des masses additionnelles), pour obtenir une diminution ou une augmentation de la vitesse ω.

La courbe $m = \varphi(\omega)$ a l'allure représentée sur la figure 8.

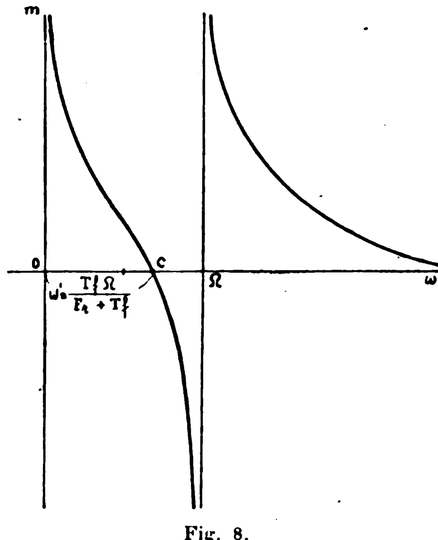


Fig. 8.

Cette courbe passe par la valeur

$$m = 0$$

pour

$$\omega' = \frac{Tf\Omega}{F_r + Tf},$$

qui est la valeur maximum que l'on peut obtenir pour ω en faisant diminuer m. Seule, la partie OC de la courbe nous intéresse.

b) *Variation de r.* — On peut également, en employant une poulie cône sur laquelle on fait avancer ou reculer le régulateur, obtenir des variations de ω correspondant aux variations de r. Cherchons la courbe $r = \varphi(\omega)$. Partant de l'équation (1), on en tire :

$$T - m\omega^2 r = \frac{F_r}{f} \frac{\omega}{\Omega - \omega}.$$

Or T peut se mettre sous la forme suivante, si nous appelons r_0 le rayon qui correspond à une tension nulle des ressorts :

$$T = K(r - r_0),$$

K étant la constante du ressort.

On en déduit : $r = \dfrac{\omega F_r + K f r_0 (\Omega - \omega)}{f(\Omega - \omega)(K - m\omega^2)}$, c'est-à-dire $r = \varphi(\omega)$.

Pour étudier cette courbe, prenons $\dfrac{dr}{d\omega}$:

$$\frac{dr}{d\omega} = \frac{-2m\omega^3(F_r - Kfr_0) + m\omega^2\Omega(F_r - 4Kfr_0) + 2m\omega\Omega^2 Kfr_0 + K\Omega F_r}{f(\Omega-\omega)^2(K - m\omega^2)}.$$

Or, si l'on remplace K par sa valeur, nous constatons que :

$$F_r - Kfr_0 = F_r - Tf\frac{r_0}{r - r_0},$$

qui est certainement négatif, car : $\left\{ \begin{array}{l} \dfrac{r_0}{r - r_0} > 1 \\ Tf > F_r \end{array} \right\}$; donc :

$$F_r - Kfr_0 < 0.$$

Considérons alors la courbe représentée par le numérateur de $\dfrac{dr}{d\omega}$:

$$Z = -2m\omega^3(F_r - Kfr_0) + m\omega^2\Omega(F_r - 4Kfr_0) + 2m\omega\Omega^2 Kfr_0 + K\Omega F_r ;$$

si nous prenons la dérivée :

$$\frac{dZ}{d\omega} = -6m\omega^2(F_r - Kfr_0) + 2m\Omega\omega(F_r - 4Kfr_0) + 2m\Omega^2 Kfr_0,$$

qui s'annule pour $\left\{ \begin{array}{l} \omega_1 = \dfrac{\Omega}{3} \\ \omega_2 = \dfrac{\Omega}{F_r - Kfr_0} \end{array} \right\}$,

ω_2 est négatif d'après ce que nous avons vu plus haut.

Or nous ne considérons les variations de $r = \varphi(\omega)$ qu'entre les valeurs admissibles de ω, qui sont o à $\sqrt{\dfrac{T}{mr}}$.

De ce qui précède, il résulte que :

ω	o		$\Omega/3$		$+\infty$
$\dfrac{dZ}{d\omega}$		—	o	+	$+\infty$
Z	$K\Omega F_r$	décroît	minim.	croît	$+\infty$

Pour $\omega = \frac{\Omega}{3}$, on a : $Z_m = \Omega\left[\frac{m\Omega^2}{27}(F_r + 8\,K\,f\,r_0) + K\,F_r\right]$, qui est positif.

Donc Z ne s'annule pas et reste toujours positif pour les valeurs de ω considérées.

Le dénominateur de $\frac{dr}{d\omega}$ s'annule pour $\left\{\begin{array}{l}\omega = \Omega \\ \omega = \sqrt{\frac{K}{m}}\end{array}\right\}$.

Or, par principe, ω reste inférieur à Ω.

De plus, $\sqrt{\frac{K}{m}} = \sqrt{\frac{T}{m(r - r_0)}}$, qui est $< \sqrt{\frac{T}{mr}}$.

Il en résulte que, pour les valeurs de ω comprises entre o et $\sqrt{\frac{T}{mr}}$, $\frac{dr}{d\omega}$ reste positif. Donc r croît toujours.

On peut admettre le tableau ci-dessous :

ω	o		$\Omega/3$	$\sqrt{\frac{T}{mr}}$	$\sqrt{\frac{K}{m}}$		Ω
$\frac{dr}{d\omega}$	$\frac{F_r}{f\Omega}$	+	mini.	+	$= \infty$		$= \infty$
r	r_0	croît	r_m	croît	$+\infty$ ‖	$-\infty$	‖

Pour $\omega = \Omega/3$, on a : $\left\{\begin{array}{l} \frac{dr}{d\omega} = \dfrac{\frac{m\Omega^2}{27}(F_r + 8\,K f r_0) + K\,F_r}{\frac{4f\Omega}{81}(9K - m\Omega^2)}, \\ r_m = \dfrac{F_r + 2\,K\,f\,r_0}{2f\left(K - m\frac{\Omega^2}{9}\right)}. \end{array}\right.$

En ce point, on a une inflexion. On aura la courbe de la figure 9. Seule la portion de la courbe A B C nous intéresse.

On voit que, lorsque r augmente, ω augmente, et inversement. Au voisinage du point B, la variation de ω est à peu près proportionnelle à celle de r.

Nota. — Une remarque ayant été faite au sujet des variations du coefficient de frottement qui devaient amener une varia-

tion de vitesse du régulateur, il était indiqué d'étudier $f = \varphi(\omega)$ représentant les variations de la vitesse ω du régulateur lorsque le coefficient de frottement varie, pour une raison quelconque (projection d'huile, chaleur, etc).

L'équation 1re nous donne

$$f = \frac{\omega F_r}{(T - m\omega^2 r)(\Omega - \omega)}$$

La dérivée $$\frac{df}{d\omega} = F_r \left[\frac{-2m\omega^3 r + m\omega^2\Omega r + T\Omega}{(T - m\omega^2 r)^2(\Omega - \omega)^2}\right]$$

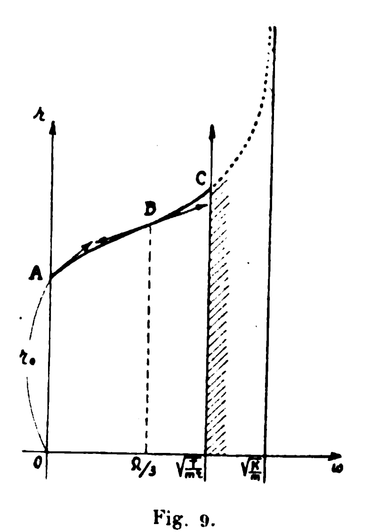


Fig. 9.

En étudiant cette dérivée et en remarquant que seule la partie de courbe comprise entre C et $\sqrt{\frac{T}{mr}}$ nous intéresse, nous obtenons le tableau ci-dessous :

ω	o		$\Omega/3$		$\sqrt{\frac{T}{mr}}$
$\frac{df}{d\omega}$	$\frac{F_r}{T\Omega}$	+	point d'inflexion	+	$+\infty$
f	o	croît	$\frac{\varphi F_r}{2(\varphi T - m\Omega^2 r)}$	croît	$+\infty$

Si nous remplaçons les lettres par leurs valeurs numériques dans le cas du régulateur réglable en marche, en supposant que la

vitesse du moteur et la force résistante ont leurs valeurs moyennes, on a le tableau ci-dessous :

ω	0		170		220	222
$\frac{df}{d\omega}$	17.10^{-6}	+		+	0,4	$+\infty$
f	0	croît	0,01	croît	0,6	$+\infty$

Nous avons ainsi la courbe ci-dessous.

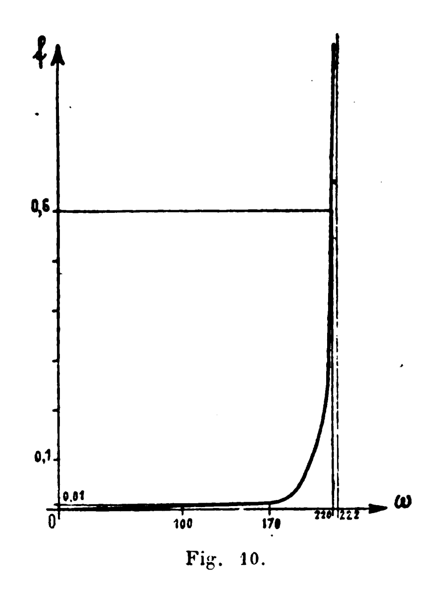


Fig. 10.

La valeur de $\frac{df}{d\omega} = 0,4$ pour $\omega = 220$, montre que si on considère une variation de vitesse $d\omega = 0,304$ correspondant à une correction avec une étoile à 15 dents, on a

$$df = 0,12$$

ce qui représente une grosse variation du coefficient de frottement, soit 20 %.

On peut donc dire qu'une variation du coefficient de frottement de 20 % produit une variation de vitesse correspondant à une correction par seconde en plus ou en moins avec une étoile à 15 dents, ce qui est insignifiant.

Ceci explique la régularité de marche du régulateur, car il est évident que le coefficient de frottement varie d'un moment à l'autre par suite des variations de température de l'état hygrométrique, et de l'état plus ou moins gras de la poulie folle. Comme le montre la théorie, ces variations du coefficient de frottement ne sont pour ainsi dire pas sensibles sur la vitesse du régulateur.

ORIGINE DE LA POSTE.

Dans un numéro récent des *Annales*, le lecteur a pu s'instruire des moyens que, dans l'Antiquité, l'on employait pour correspondre. Nous désirons donner ici quelques explications sur l'origine de la Poste, en France. Disons tout de suite que les renseignements systématiques les plus complets se trouvent dans le remarquable traité de législation et d'exploitation postales que M. Paul Jacottey fit paraître en avril 1891. D'ailleurs, cet auteur a mis largement à profit l'exposé historique et le recueil des édits que publia en 1730 M. Lequien de la Neufville. L'Administration des Postes a d'ailleurs fait imprimer en 1875 à l'Imprimerie Nationale un recueil des lois, décrets, ordonnances et arrêtés concernant l'Administration de la Poste aux lettres de 1790 à 1874. Ces documents sont évidemment les pièces essentielles à consulter.

Il convient encore de citer les Postes françaises, par Alexis Belloc (1886) et le précis historique sur les messagers universitaires de Lœper (Union postale, tome IX), que nous avons particulièrement utilisé.

Il semble que les études historiques concernant la Poste aient été approfondies d'une façon toute particulière en Allemagne.

Parmi les livres récents de vulgarisation, on peut recommander Das Postwesen de Bruns et l'ouvrage, portant également le même titre de Sieblist, Oberpostrat (Teubner, 1918).

Au moyen âge, la vie politique et intellectuelle était concentrée autour des princes, des évêques, des monastères et des universités. Les communications se faisaient par des messagers, par des ambassadeurs, des moines itinérants ou des frères lais. Les messagers des monastères et des universités maintenaient les fils de famille en relation avec leurs parents. En particulier,

l'Université de Paris tirait de cette exploitation d'importants revenus. L'institution des postes universitaires prolongea son existence jusqu'au milieu du XVIIIe siècle, quoique ce fût bien longtemps auparavant, le 19 juin 1464, que Louis XI signa la fameuse ordonnance de Lucies (aujourd'hui Lucheux, près de Doullens), par laquelle fut organisé en France le service général des Postes.

Ce furent tout d'abord les couvents, qui acquirent le privilège de la libre circulation des marchandises à leur destination. Les relations de messagerie ou de poste de Cluny s'étendaient de l'Espagne à la Hongrie ; Cîteaux embrassait toute l'Europe civilisée. L'Université de Paris remonte au XIIe siècle. Les privilèges des maîtres et écoliers procédaient de leur caractère ecclésiastique (clerici). Les étudiants étaient divisés en quatre nations, bénéficiant chacune d'une qualification honorifique distinctive (français, honoranda ; picards, fidelissima ; normands, veneranda ; anglais, plus tard allemands, constantissima). Il y avait de grands messagers, citoyens notables qui avançaient de l'argent aux élèves, et de petits messagers, qui étaient chargés du transport des lettres, des hardes et paquets. Chaque nation avait ses messagers. Les rois de France favorisèrent l'institution ; Charles V n'appelait-il pas l'Université la fille aînée des rois de France.

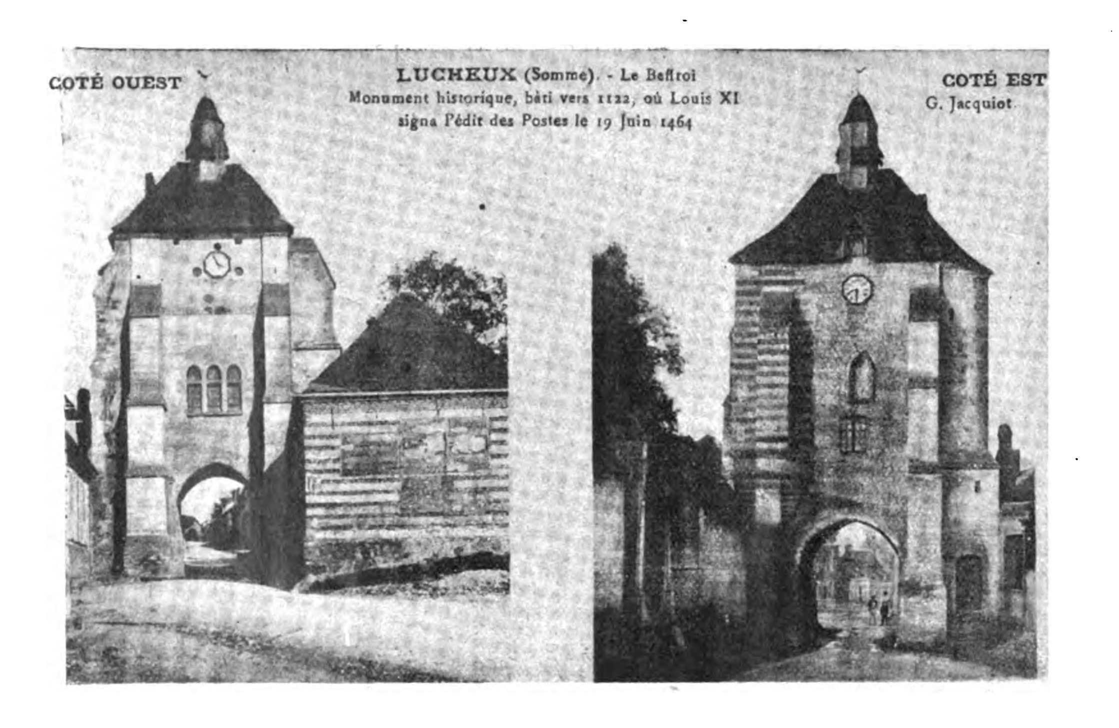
Philippe le Bel, au cours d'une guerre, prenait sous sa protection les messagers *volants* des écoliers flamands.

Louis X confirme les anciens privilèges ; Charles VI exempte de garde les messagers de l'Université.

En 1488, Charles VIII prescrit que l'Université aura un grand messager pour chaque diocèse représenté.

Henri IV, par lettres patentes de juin 1594, confirme l'Université dans tous ses privilèges et un règlement du Conseil d'Etat exempte les messagers d'avoir à payer un droit spécial et d'obtenir la sanction royale.

Dans divers conflits d'attribution, le Parlement se prononce en faveur de l'Université. En 1633, une partie de la ferme de la poste universitaire est allouée aux régents à titre de dommages de guerre.


COTÉ OUEST
LUCHEUX (Somme). - Le Beffroi
Monument historique, bâti vers 1122, où Louis XI
signa l'édit des Postes le 19 Juin 1464
COTÉ EST
G. Jacquiot

Un édit de 1655 rappelle la Déclaration du 6 avril 1488 qui accordait à l'Université le pouvoir d'établir un messager en chaque diocèse pour porter les lettres et les paquets des régents, des écoliers et des suppôts de l'Université.

Notons en passant que, vers 1612, un grand messager, qui entrait en concurrence avec les petits messagers, faisait placer, devant sa maison, une *caissette*, qui fut sans doute la plus ancienne des boîtes aux lettres.

D'une façon générale, bien que le service postal de l'Université fonctionnât concurremment avec la poste royale, il devait être réservé aux maîtres et écoliers de l'Université et à leurs familles. Un arrêt du Parlement de Paris, du 16 février 1629, a reconnu ce droit et, dans cette limite, à la suite d'un procès entre le messager ordinaire de Bourges et un messager juré de l'Université de Paris.

Sous Louis XIII, les messagers de l'Université furent inquiétés, ils durent faire la preuve de leur droit à l'office, et payer une taxe pour la transmission héréditaire.

Ils étaient en concurrence avec le surintendant des Postes, qui combattait leur privilège, en s'appuyant sur la déclaration de Charles VIII, de mars 1488, laquelle leur interdisait de transporter d'autres lettres ou espèces que celles des régents et des étudiants.

Les procès continuèrent à être fréquents et fertiles en incidents. Louis XIV réunit les deux services ; le fermier des postes eut l'entière disposition du port des lettres et paquets expédiés par le public.

Le 14 avril 1719, une ordonnance prescrivit la gratuité de l'enseignement donné à la Faculté des Arts et l'Université par compensation reçut en dotation un vingt-huitième de la ferme générale des Postes. Rollin était recteur. Ce fut la fin des postes universitaires.

C'est un arrêt du Conseil d'État du 3 février 1728 qui fit défense à tous messagers royaux et des Universités de porter aucunes lettres, paquets de lettres, ni papiers autres que les rôles de leur établissement. Il s'agissait alors de consolider le

monopole du S[r] Accurse Thiery, subrogé au lieu et place de maître Jean Coulombier, fermier général des Postes et Messageries de France, devenu tel par bail du 18 avril 1721. Le principe du monopole d'État est posé nettement dans ce bail. — Nous pensons que le nom de la rue des Postes au quartier latin (aujourd'hui rue Lhomond) vient des postes universitaires, par une sorte de confusion avec l'ancien nom de rue des Pots (1540), qu'elle tirait des poteries Saint-Séverin.

La Grande Poste était installée rue des Déchargeurs ; elle fut transférée en 1700 rue des Poulies et, en 1757, la ferme acheta un immeuble situé entre les rues Plâtrière et Coq-Héron.

Dans certaines contrées de l'Allemagne, en Souabe, notamment, c'étaient les bouchers qui, étendant au loin leurs voyages d'affaires pour aller chercher avec cheval et voiture des bestiaux à abattre, offraient les moyens d'acheminer commodément les correspondances ; ils traitaient avec les villes et les corporations ; parfois même, ce service de lettres et de messageries était une obligation qui leur était imposée.

Lorsque les Chevaliers de l'Ordre teutonique se furent établis en Prusse et que le siège de la maîtrise de l'ordre passa de Palestine à Venise, il y eut un service régulier entre Venise et la Prusse, comme plus tard entre Marienbourg et les autres établissements de l'Ordre. On peut penser que, malgré les défenses, les particuliers utilisaient ces courriers comme ils avaient fait ceux du *cursus publicus*, dans l'antiquité.

A partir du XVI[e] siècle, des services postaux furent organisés par les villes, pour les besoins du commerce, notamment pour desservir les foires, et alors ils furent mis à la disposition du public. Les découvertes de l'imprimerie, de l'Amérique et de la route maritime des Indes donnèrent une grande impulsion au mouvement intellectuel et économique. C'est Charles-Quint qui confia le monopole postal à Frantz von Taxis et plus tard à son neveu Jehann Baptist von Taxis. A partir de ce moment, la poste prit en Allemagne le caractère d'un service d'utilité publique, politique et sociale. C'est l'empereur Rudolf II

qui, par lettres patentes du 16 juin 1595, éleva la dignité de General Portamister à la hauteur d'emploi impérial.

En France, c'est Louis XI qui par l'édit du 19 juin 1464 que nous rappelions plus haut, a créé l'Office de Conseiller Grand Maître des coureurs de France. L'institution était exclusivement politique et réservée au service royal ; cependant Louis XI offrait généreusement l'utilisation de ses courriers à d'autres puissances. « Et afin, dit l'édit, que notre Très Saint Père le Pape et Princes étrangers, avec lesquels sa Majesté a amitié et alliance, par le moyen desquels le passage de France est libre à leurs courriers et messagers, n'ayent sujet de se plaindre du présent règlement, sa Majesté entend leur conserver la liberté du passage, suivant et ainsi qu'il est porté par ses ordonnances, leur permettent si bon leur semble, d'user de la commodité dudit établissement, en payant raisonnablement et obéissant aux ordonnances contenues. »

Quoique Louis XI eût restreint la poste à son usage et à celui des Princes étrangers, ses amis, on apprend par les règlements de 1627 qu'à cette époque déjà le public utilisait couramment les communications établies ; ce règlement avait même pour objet de distinguer, d'avec les lettres ou papiers et petits colis, les paquets encombrants à écarter, de fixer les taxes, d'interdire l'insertion d'objets d'or ou d'argent, des pierreries etc., et de réglementer la déclaration des envois, ne comportant que de petites sommes, inférieures à cent livres.

La petite ville de Lucheux conserve le souvenir de l'édit de Louis XI ; elle a organisé des fêtes commémoratives ; le château de Lucheux n'offre plus que des ruines imposantes ; mais le beffroi où fut signé l'édit, est bien conservé. C'est ce beffroi dont nous donnons la reproduction photographique ci-jointe, en montrant le côté ville et le côté campagne. Le site est fort coquet ; il y a des sources minérales ; les touristes qui vont à Doullens ou à Arras ne manquent pas de venir visiter ces lieux, riches en souvenirs historiques.

Le château de Lucheu (ancienne orthographe), au moment où Louis XI y signa l'édit, appartenait au comte de Saint-Pol,

qui plus tard fut abandonné à la vengeance de Louis XI par Charles le Téméraire. Louis XI, en visite à Lucheu, avait caché dans un meuble le seigneur de Contay, ami du duc de Bourgogne, pour qu'il entendît un des officiers du comte lui tenir des propos contre le duc, propos imprudents qui furent rapportés à celui-ci.

J.-B. Pomey.

RÉDUCTION DE L'EFFET D'ÉCHO SUR LES LONGUES LIGNES TÉLÉPHONIQUES.

L'écho électrique est un phénomène analogue à l'écho acoustique. La vitesse de propagation des ondes électriques étant considérablement plus grande que celles des ondes acoustiques, l'effet d'écho n'est perceptible que sur les longues lignes téléphoniques.

Le mode de formation des courants d'écho dans une transmission téléphonique est bien connu ; ils sont dus à ce que les propriétés électriques de la ligne ne sont pas uniformes. Dans les longs circuits téléphoniques munis d'amplificateurs, ils prennent une importance particulière, due à l'inexactitude de l'impédance des lignes d'équilibre et des amplificateurs eux-mêmes, mais aussi aux deux faits suivants :

1) Les amplificateurs diminuant l'affaiblissement du circuit, l'intensité des courants d'écho est plus élevée.

2) Les circuits étant plus longs et généralement pupinisés, le temps de propagation est plus grand et les courants d'écho produisent la répétition de chaque syllabe après un temps appréciable, d'où gêne plus grande pour les deux correspondants.

Aussi en Angleterre et en Amérique où de tels circuits sont déjà, ou vont être incessamment, en service, a-t-on cherché à réduire ces courants d'écho. Nous allons donner sommairement le principe de deux appareils étudiés à cet effet, pour des circuits à quatre fils.

Le premier est exposé, dans le « rapport de recherche » n° 3686 de l'office britannique, par M. Robinson et R.M. Chamney. D'après le schéma de la figure 1, les courants de conversation transmis à partir de A sont amplifiés en C_1, C_2, etc... Pour réduire l'efficacité de la ligne de retour L_2, un amplificateur-redresseur du type ordinaire à lampes est adjoint à l'un des

amplificateurs de la ligne L_1, soit C_2. Lorsque les courants de conversation traversent C_2, une tension redressée, produite par le redresseur, est appliquée à la grille d'un amplicateur de la

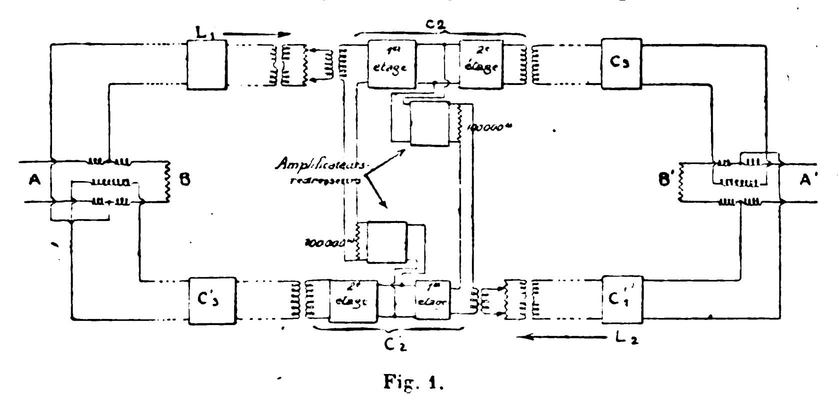


Fig. 1.

ligne L_2 pour réduire son efficacité, donc celle de la ligne de retour. Le montage est réciproque, les courants de conversation de la ligne L_2 agissant sur un des amplificateurs de L_1 pour réduire son efficacité. Si l'amplificateur-redresseur de L_1 est à la station de C_2, celui de L_2 doit être à la même station en C'_2 ou entre C'_2 et A pour qu'il ne puisse être actionné par les courants de circulation, avant qu'ils aient été supprimés en C'_2.

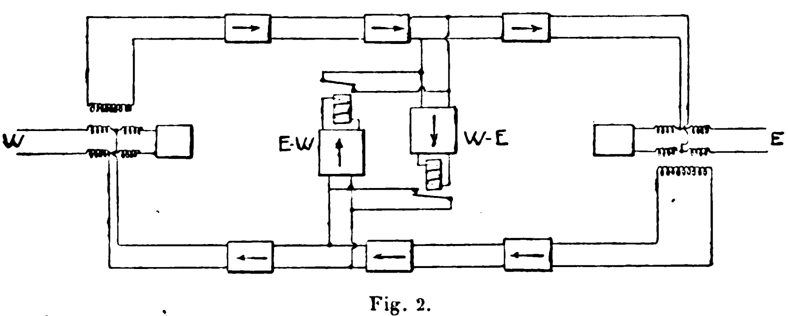


Fig. 2.

En résumé, ce montage, ne comportant aucun relais mécanique, agit en paralysant un des amplificateurs de la ligne de retour par l'application d'une tension redressée négative à la grille de cet amplificateur.

Tout différent en principe est le second procédé, exposé par

M. A.B. Clark (American telephone and telegraph company) et M. R.C. Mathes (Bell telephone laboratories), dans *Electrical communication* (1925, n° 1).

Un amplificateur-détecteur à lampes, de haute impédance, est associé à un relais qui est actionné quand une tension alternative suffisante est appliquée à l'entrée de l'appareil (fig. 2).

Ce relais met en court-circuit la ligne de retour et l'amplificateur-détecteur symétrique.

La transmission étant possible dans l'un ou l'autre sens,

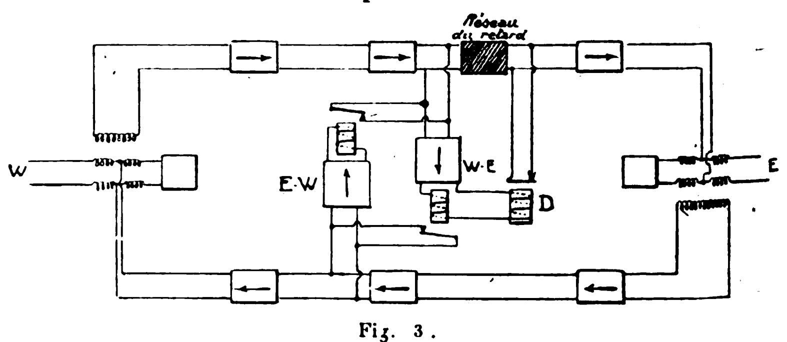


Fig. 3.

quand personne ne parle, il faut éviter la possibilité de sifflement ; si les amplifications sont assez grandes, celui-ci prendra naissance, comme si les appareils anti-échos n'existaient pas ; les courants de circulation feront fonctionner un des appareils ; une des voies sera bloquée ; le sifflement cessera mais reprendra dès que le relais sera revenu au repos. Pour remédier à cet inconvénient, le dispositif de la figure 3 est proposé. Un relais D est adjoint à un des appareils anti-échos, et quand personne ne parle une des voies est bloquée.

Quand W parle, les deux relais associés à W-E sont attirés, mais avec un certain retard ; la première partie des mots serait donc supprimée ; aussi retarde-t-on les courants de conversation par un « réseau de retard » qui peut être une ligne artificielle chargée ou un filtre passe-bas. Les auteurs étudient ensuite la sensibilité du système, son application à d'autres types de circuits, tels que les circuits à deux fils, les avantages que son

emploi procure, ainsi que les conditions qui le limitent. Leur conclusion est la suivante : pour un type particulier de circuit, les avantages de l'appareil anti-écho croissent avec la longueur ; pour une longueur donnée, les avantages sont d'autant plus grands que la vitesse de transmission est plus faible. L'emploi d'un tel appareil permet de faire des économies en adoptant des charges plus élevées et des vitesses de transmission plus faibles, tout en exigeant des conditions d'uniformité d'impédance des circuits moins sévères.

P. Mocquard,
Ingénieur au Service d'études
et de recherches techniques.

SUR QUELQUES SOURCES D'ERREURS DANS LA MESURE EN FABRIQUE DES PROPRIÉTÉS ÉLECTRIQUES DES CABLES,

Par J. KÜHLE,

Ingénieur au laboratoire de la fabrique des câbles Vogel à Cöpenick (1).

Les essais électriques effectués en usine sur les bobines de câble en cours de fabrication comportent, en raison des conditions mêmes des mesures des difficultés exceptionnelles. M. J. Kühle, attaché au laboratoire de la maison Vogel à Cöpenick, analyse, dans le présent article, quelques-unes des sources d'erreurs qui peuvent fausser les résultats : l'influence des conducteurs qui relient l'installation de mesure à la bobine en essai est analysée notamment dans tous ces détails. L'auteur relate quelques-unes des anomalies les plus typiques rencontrées au cours de ses travaux et il indique les montages qui mettent l'expérimentateur à l'abri de tout incident; des considérations théoriques précises justifient ces perfectionnements, inspirés des difficultés mêmes de la pratique, et confèrent à l'exposé de l'auteur une réelle autorité.

Les considérations suivantes se rapportent à la mesure des propriétés électriques industrielles des circuits à deux conducteurs utilisés dans la technique des câbles à courant faible. La difficulté réside dans les phénomènes de trouble qui s'introduisent dans les mesures en courant alternatif. Pour se faire une idée complète de la question, on examinera d'abord quelques sources d'erreurs intervenant dans les mesures en courant continu. De la connaissance des causes d'erreurs découlera naturelle-

(1) Traduction partielle d'un article paru dans la *Telegraphen- und Fernsprech-Technik* (4 janvier 1925).

ment le moyen de les éliminer. Ainsi que l'indique le titre, on ne fera pas une description complète de toutes les causes d'erreur qu'on peut rencontrer dans les mesures sur les câbles ; on se bornera plutôt à en discuter quelques-unes, soit qu'elles soient particulièrement importantes, soit que jusqu'ici on les ait peu mises en évidence ; on indiquera aussi les moyens d'éviter leur effet, qui fausserait le résultat des mesures.

Les canalisations de liaison sont un mal inévitable des installations de mesure des câbles. Lorsqu'on ne peut ni amener le câble dans la salle de mesure, ni monter les délicates installations de mesure dans la salle de fabrication, on utilise, pour relier l'installation de mesure au câble, une canalisation de liaison plus ou moins longue. Cette canalisation est le siège principal des sources d'erreur, aussi bien pour les mesures en courant continu qu'en alternatif, même quand elle est dans un état irréprochable. Naturellement, les conducteurs possèdent les mêmes propriétés électriques que celles que l'on veut mesurer sur le câble. La méthode de mesure tient compte de cette influence, en ce qu'on retranche, des résultats des mesures sur le câble, les valeurs obtenues, par une mesure spéciale, pour la canalisation de liaison. Abstraction faite des circonstances, on ne peut rien objecter à cette méthode, à condition que les valeurs de la canalisation soient suffisamment constantes et ne soient pas beaucoup plus grandes que celles du câble. En fait, ce n'est pas toujours le cas. Par suite des vastes dimensions des usines, une partie importante de la canalisation de liaison doit être constituée par des conducteurs volants, et leurs propriétés électriques sont soumises à des variations temporaires. Il en résulte que souvent les valeurs de la capacité et de la conductibilité du diélectrique du circuit téléphonique représentent seulement une faible fraction des valeurs correspondantes de la canalisation de liaison. Ainsi s'introduit, dans la mesure de ce circuit, une incertitude assez grande.

1. Mesures en courant continu. — Dans les mesures en courant continu, on emploie souvent l'artifice suivant pour élimi-

ner l'influence des courants de charge et de perte de la canalisation de liaison : on entoure les conducteurs de la canalisation de liaison de fourreaux métalliques isolés (nommés protecteurs), que l'on maintient au potentiel du conducteur relié à l'instrument de mesure au moyen d'une dérivation en un point situé avant cet instrument de mesure.

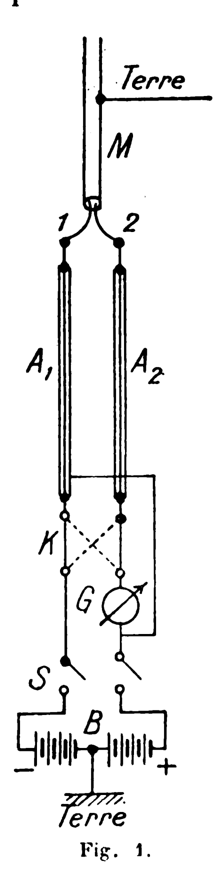


Fig. 1.

La figure 1 montre le montage d'une telle installation. Une batterie B, mise à la terre en son point milieu, peut être mise sur le circuit du câble à l'aide d'un interrupteur bipolaire S. L'enveloppe de plomb du câble mise à la terre est désignée par M. Sur les conducteurs de liaison 1 et 2 est monté le commutateur K, et sur 2 l'instrument de mesure G (galvanomètre). Les conducteurs 1 et 2 sont entourés des fourreaux métalliques isolés A_1 et A_2, réunis ensemble et reliés à un point situé sur le conducteur 2 avant le galvanomètre. Si, à l'aide de S, on met la batterie sur le circuit, les conducteurs 1 et 2 prennent des potentiels opposés. Les fourreaux protecteurs prennent, en négligeant la petite chute de potentiel dans le galvanomètre G, le même potentiel que le conducteur 2.

Par suite, le long du fourreau A_2, le conducteur 2 ne reçoit aucune charge électrique, et aucun courant de perte n'en sort. Tout le courant qui traverse le galvanomètre G parvient au circuit de câble en essai. Tout se passe d'une façon analogue quand le courant du galvanomètre est envoyé dans le conducteur 1 par la manœuvre du commutateur K (diagonales pointillées). Ce sont donc bien les courants de charge et de perte du câble qui sont mesurés par le galvanomètre, toute influence de la canalisation de liaison étant éliminée. J'avais équipé les stations de mesure des fabriques de câbles de l'Allemagne du Sud avec ce

montage connu, quand un employé consciencieux m'expliqua qu'il n'avait pu faire de mesures avec cette installation, parce que la canalisation de liaison donnait des mesures tout à fait irrégulières. Après examen de la question, on établit ce qui suit : Si la canalisation de liaison, munie de ses fourreaux, est seule connectée à circuit ouvert à l'installation de mesure, on ne constate, comme il faut s'y attendre, aucune déviation du galvanomètre. Si, après une minute, la batterie est coupée, les conducteurs déchargés et inversés (fig. 1 : diagonales pointillées), puis qu'on remette la batterie, il se produit une déviation instantanée de 17 divisions, qui passe à 3 après une minute. Après une nouvelle inversion, il se produit une déviation, du même ordre de grandeur. Les déviations du galvanomètre sont d'autant plus grandes que la batterie a été connectée plus longtemps avant l'inversion. La relation entre ce temps et la déviation du galvanomètre montre qu'il s'agit d'un phénomène d'action résiduelle du diélectrique entre le conducteur de liaison et l'enveloppe de protection. En examinant la figure 1, on voit qu'après la première mise en circuit de la batterie il s'établit, entre le conducteur 1 et le fourreau A_1, une différence de potentiel correspondant à la différence de potentiel aux bornes de la batterie. Mais le courant de déplacement et le courant de perte passant de A_1 à 1 ne traversant pas le galvanomètre G, ne sont pas enregistrés. Mais si, après avoir enlevé la batterie, on décharge et inverse les conducteurs de la canalisation, l'action résiduelle du milieu produit une différence de potentiel entre le conducteur 1 et le fourreau A_1, qui envoie un courant de compensation de 1 à travers la diagonale du commutateur et le galvanomètre G, vers A_1 par la liaison en dérivation. Même si le trouble n'est pas très important, comme le montrent les chiffres donnés plus haut, il gêne cependant d'une façon sensible les mesures sur des câbles de grand isolement, en particulier quand on opère sur de faibles longueurs. On y remédie, soit en choisissant, comme isolant entre le conduteur de la canalisation de liaison et le fourreau protecteur, une matière qui présente le moins possible d'action diélectrique résiduelle, soit en adoptant

un autre montage où l'on évite de créer un champ électrique dans ce diélectrique. Dans le choix des isolants, on est limité, la plupart des conducteurs de liaison étant isolés au caoutchouc, qui présente toujours un effet diélectrique résiduel considérable. Je me suis donc décider à modifier le montage.

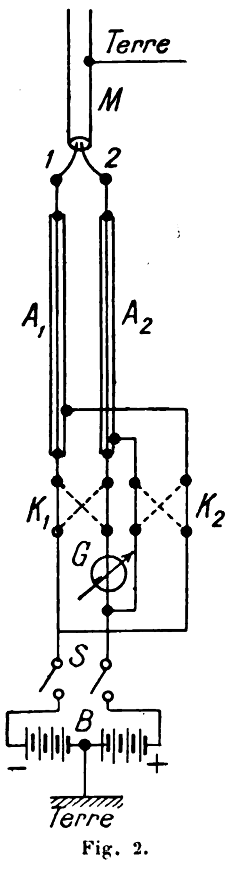


Fig. 2.

Le montage adopté est reproduit sur la figure 2. Les fourreaux A_1 et A_2 sont reliés aux conducteurs principaux par deux dérivations séparées, de telle sorte que le courant dans ces dérivations ne traverse pas le galvanomètre G. Les courants que reçoivent ces fourreaux, par suite de leur capacité et de leur perte par rapport à la terre, n'agissent donc pas sur le galvanomètre. Les fourreaux A_1 et A_2 ont, à part la faible chute de potentiel dans le galvanomètre G, les mêmes potentiels que les conducteurs 1 et 2 qu'ils recouvrent. Pour avoir toujours les mêmes potentiels sur les fourreaux et sur les conducteurs, après inversion de 1 et 2, il faut intercaler un deuxième commutateur K_2 dans les dérivations. Ceci amène une complication notable du montage, mais le maniement des appareils reste aussi simple, les deux commutateurs K_1 et K_2 étant manœuvrés par une seule poignée, au moyen d'un excentrique commun. Les autres indications de la figure 2 correspondent à celles de la figure 1.

Avec ce montage, on est arrivé à éliminer complètement l'influence des troubles dus aux conducteurs de liaison. Mentionnons encore que, pour appliquer complètement le principe de la protection, le galvanomètre lui-même, ainsi que les appareils en circuit entre le galvanomètre et le conducteur de liaison, doivent être protégés. Ces appareils, non-indiqués en partie sur la

figure 2, sont le shunt du galvanomètre, l'interrupteur de ce shunt, et le commutateur K_1. Pour le galvanomètre, le shunt et son interrupteur, ils sont en général munis de supports métalliques isolés qu'on relie à la borne du galvanomètre connectée au pôle de la batterie. Le commutateur K_1 est d'un modèle spé-

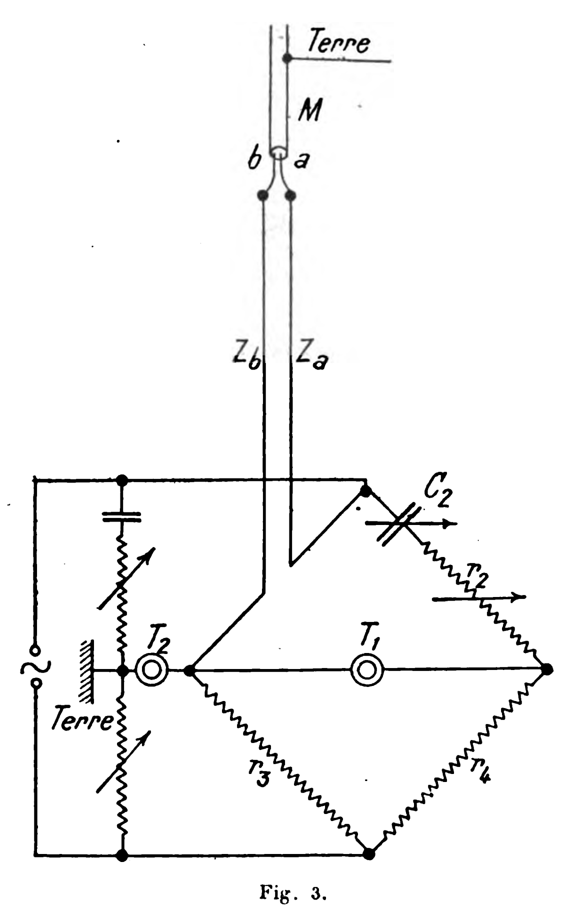


Fig. 3.

cial, les éléments de contact ne sont pas montés, comme d'ordinaire, sur une plaque d'ébonite, mais sur une plaque de métal, chacun étant isolé. La plaque métallique est relié à la borne du galvanomètre connectée à la batterie. Le commutateur K_2 et toutes les autres parties du montage n'exigent aucune protection. Une telle installation de mesure, outre l'absence d'influence

de la canalisation de liaison, présente l'avantage de rendre possibles des mesures correctes, même dans une atmosphère humide où des mesures avec une installation non-protégée seraient impossibles.

2. Mesures en courant alternatif (perditance « négative »). — Dans l'essai d'un câble téléphonique, on a observé le phénomène suivant. Le câble M était connecté par des conducteurs

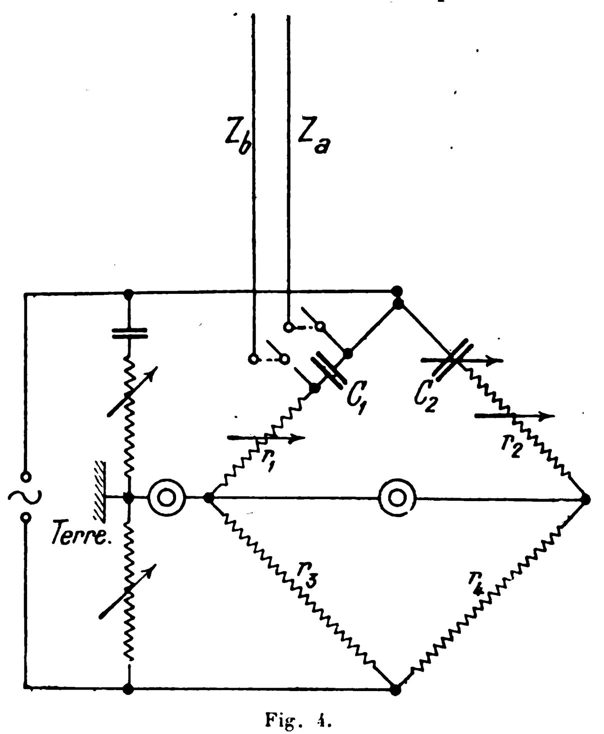


Fig. 4.

aériens z_a et z_b à une installation ordinaire de pont avec un bras auxiliaire de K.-W. Wagner (fig. 3). Ce montage étant connu, j'arrive tout de suite aux singularités. Comme l'indique le montage, on veut mesurer la capacité entre les fils *a* et *b* du câble. La canalisation aérienne comprenait deux fils de cuivre de $1^{mm},8$ de diamètre placés à une distance de 55^{mm} l'un de l'autre sur des poulies de porcelaine fixées à un mur enduit de plâtre. La distance des fils au mur était de 20^{mm}. La capacité des deux fils z_a et

z_b l'un par rapport à l'autre était de $10^{\mu F},5 \times 10^{-5}$; celle de chaque fil par rapport à la terre, de $35^{\mu F} \times 10^{-5}$. Dans la mesure, on fut très étonné de la très faible valeur de la perditance du circuit. La résistance r_2 dans le pont devait être prise presque nulle pour obtenir l'équilibre. N'ayant jamais constaté jusqu'alors dans les circuits de câbles d'aussi faibles valeurs de la perditance, on soupçonna que l'installation du pont n'était pas correcte.

Pour essayer le pont, on remplaça le câble par un condensateur au mica c_1 (fig. 4). Sa capacité et sa perditance, qui étaient connues, furent mesurées correctement au pont. Mais, si on mettait, en parallèle avec c_1 les conducteurs z_a et z_b, il fallait, pour obtenir l'équilibre, ajouter devant c_1 une résistance r_1. Le tableau suivant donne, pour trois valeurs différentes du condensateur c_1, les valeurs nécessaires pour rétablir l'équilibre, avec ou sans les conducteurs z_a et z_b en parallèle.

c_1	r_1	c_2	r_2
$0^{\mu F},001$	0	$0^{\mu F},00102$	300^{Ω}
$0^{\mu F},001 + z_a$ et z_b	940^{Ω}	$0^{\mu F},001125$	0
$0^{\mu F},002$	0	$0^{\mu F},00207$	250^{Ω}
$0^{\mu F},002 + z_a$ et z_b	100^{Ω}	$0^{\mu F},002175$	0
$0^{\mu F},003$	0	$0^{\mu F},00306$	40^{Ω}
$0^{\mu F},003 + z_a$ et z_b	100^{Ω}	$0^{\mu F},003165$	0

Ce qu'il y a de surprenant dans ces résultats, c'est que l'introduction des conducteurs aériens semble diminuer la perditance du condensateur C_1, donc que les conducteurs aériens paraissent avoir une forte *perditance négative*. Or, d'après la loi de la conservation de l'énergie, ceci est impossible si l'on n'in-

troduit pas d'autres sources d'énergie. On arrive à une explication très simple des phénomènes observés quand on se rappelle le rôle que joue, au point de vue électrique, le mur sur lequel est placée la canalisation. La surface du mur peut être considérée comme une couche conductrice. Cependant cette couche n'est pas au potentiel de la terre, car le mur constitue un conducteur (ou mieux un semi-conducteur) de résistance élevée. Pour le calcul, on peut donc représenter le mur par une plaque conductrice reliée à la terre par une grande résistance. Nous avons alors

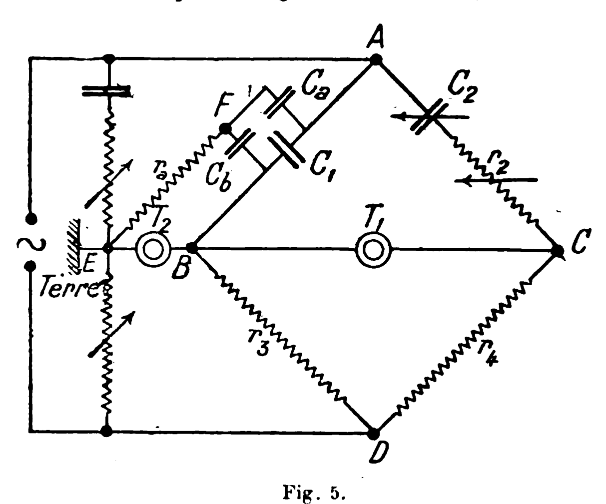


Fig. 5.

(fig. 5) un schéma réduit de l'installation de mesure : c_1 représente la capacité du conducteur z_a par rapport à z_b, c_a et c_b les capacités de chaque fil par rapport à la surface du mur et enfin r_e la résistance du mur à la terre. Le condensateur c_1 a la capacité c_1 et la perditance a_1. Si l'on représente par P la différence de potentiel entre A et B, il passe à travers c_1 un courant alternatif de valeur :

$$J_0 = P\,i\omega c_1 + P\,a_1,$$

où ω est la pulsation du courant alternatif et i le symbole imaginaire : $\sqrt{-1}$. La perditance produit donc une composante de courant réelle et positive : $P a_1$. En outre de J_0, un autre courant va encore de A à B à travers les deux condensateurs c_a et c_b en

série. Si l'on désigne le courant traversant c_a par J_a, celui traversant c_b par J_b, et celui qui va à travers r_e par J_e, on a :

$$J_a = J_b + J_e.$$

Le courant J_b traverse avec J_o la branche du pont r_3. Dans cette branche, on a donc une chute de tension due à la somme : $J_o + J_b$, et qui doit être équilibrée par une chute égale dans la branche r_4 pour qu'on n'ait aucun courant dans la diagonale BC. Le courant J_b donne donc l'erreur intervenant dans la mesure du courant J_o. Calculons J_b. Les points B et E ayant le même potentiel, d'après l'équilibre du pont auxiliaire, on peut les supposer confondus. Par suite, on peut supposer c_b en parallèle avec r_e et l'ensemble en série avec c_a. On a alors :

$$J_a = \frac{P}{\frac{1}{i\omega c_a} + \frac{1}{i\omega c_b + \frac{1}{r_e}}}.$$

$$\text{Or : } \frac{J_b}{J_e} = i\omega c_b r_e; \text{ donc : } \frac{J_b}{J_b + J_e} = \frac{i\omega c_b r_e}{1 + i\omega c_b r_e}.$$

Comme : $J_a = J_b + J_e$, on a :

$$J_b = J_a + \frac{i\omega c_b r_e}{1 + i\omega c_b r_e}.$$

Si l'on remplace J_a par sa valeur, on a :

$$J_b = \frac{P}{\frac{1}{i\omega c_a} + \frac{1}{i\omega c_b + \frac{1}{r_e}}} \cdot \frac{i\omega c_b r_e}{1 + i\omega c_b r_e} \text{ ou :}$$

$$J_b = \frac{P}{\frac{1}{i\omega c_a} + \frac{r_e}{1 + i\omega c_b r_e}} \cdot \frac{i\omega c_b r_e}{1 + i\omega_b r_e}.$$

Si l'on multiplie le numérateur et le dénominateur par :

$i\omega c_a(1 + i\omega c_b r_e)$, il vient :

$$J_b = P\,\frac{i\omega c_a(1 + i\omega c_b r_e)\, i\omega c_b r_e}{[(1 + i\omega c_b r_e) + i\omega c_a r_e](1 + i\omega c_b r_e)} \text{ ou}$$

$$J_b = P \frac{-\omega^2 c_a c_b r_e}{1 + i\omega r_e (c_a + c_b)} = P \frac{-\omega^2 c_a c_b}{\frac{1}{r_e} + i\omega (c_a + c_b)} .$$

L'expression trouvée pour le courant pertubateur J_b prend des valeurs différentes suivant la valeur de r_e. Si $r_e = 0$, la surface du mur étant un conducteur relié sans résistance à la terre, $J_b = 0$. Dans ce cas aucune erreur n'intervient dans le résultat des mesures. Comme on l'a déjà vu, dans c_1 entre aussi la valeur de la capacité de z_a et z_b l'un par rapport à l'autre. Si l'on entoure z_b d'un fourreau métallique mis à la terre, la capacité entre z_a et z_b est éliminée de sorte qu'on n'a plus aucune influence des conducteurs de liaison.

Si l'on fait maintenant $r_e = \infty$, le mur se comportant comme un isolant parfait, on a :

$$J_b = i P \omega \frac{c_a \cdot c_b}{c_a + c_b} .$$

L'expression $\frac{c_a \cdot c_b}{c_a + c_b}$ donne la capacité des deux condensateurs c_a et c_b montés en série. Le courant les traversant sous la différence de potentiel P est un courant déwatté (courant de capacité) qui s'ajoute au courant J_0. Ce résultat peut d'ailleurs s'obtenir directement sans l'aide de la formule développée de J_b.

Pour toutes les autres valeurs de r_e entre 0 et l'infini, on obtient pour J_b une valeur comprenant une composante réelle négative et une composante imaginaire positive. Dans la plupart des cas de la pratique, la composante imaginaire sera petite et pourra être négligée. C'est le cas lorsque : $\omega (c_a + c_b) r_e \leqslant 1$.

On a donc : $J_b = - P \omega^2 c_a c_b r_e$.

Le courant J_b est alors réel et négatif ; c'est ainsi qu'on arrive à une perditance négative.

Dans notre exemple, on a, en se servant des résultats contenus dans le tableau 1 :

$$\omega^2 . c_a . c_b . r_e = 0^{\mu S},037.$$

Comme $c_a = c_b = 35^{\mu F} \times 10 - 5$ d'après une mesure anté-

rieure, pour $\omega = 5.000$ on a environ :

$$r_e = 12.000 \text{ ohms.}$$

Par suite : $\omega (c_a + c_b) r_e = 0,042$. La composante imaginaire peut donc être négligée devant 1. La valeur de $0^{\mu S},037$, que nous trouvons dans notre exemple comme diminution de la perditance, cause déjà des erreurs importantes dans les mesures des câbles.

Comme on le sait, dans les câbles téléphoniques, la plus grande valeur admissible de la perditance pour un circuit de $0^{mm},9$ de diamètre est de $0^{\mu S},85$ par kilomètre. Cela correspond, pour une longueur de fabrication de 334 mètres, à une valeur à mesurer d'environ : $0^{\mu S},14$. Dans les mesures précédentes, la longueurs des conducteurs aériens n'était que de 30 mètres ; toutes choses égales d'ailleurs, on aura donc des erreurs plus grandes avec des conducteurs plus longs. Entre certaines limites, à savoir tant que r_2 ne dépasse pas une certaine valeur (100.000 ohms environ), la diminution de la perditance est sensiblement proportionnelle à r_e c_a et c_b. Si, par exemple, c_a et c_b restant les mêmes, la résistance du mur était de : $r_e =$ 100.000 ohms, on obtiendrait une diminution apparente de perditance de $0^{\mu S},28$, valeur qui dépasse souvent de beaucoup la perditance à mesurer. L'influence pertubatrice d'un mur mauvais conducteur (sec) est donc souvent plus grande que celle d'un mur bon conducteur (humide).

En résumé, il ne faut employer comme canalisation de liaison, dans les mesures de câbles au pont de Wagner, que des câbles à un conducteur dont l'enveloppe de plomb est mise à la terre. Si l'on est obligé d'employer une canalisation aérienne, on doit l'établir le plus loin possible des murs, sur des supports métalliques soigneusement mis à la terre. D'ailleurs, même dans une canalisation ainsi établie, on aura toujours à retrancher du résultat des mesures la capacité des deux fils l'un par rapport à l'autre.

Mesures avec un appareil de compensation. — Dans ces dernières années, on a souvent employé pour la mesure de la

capacité et de la perditance des câbles téléphoniques, l'appareil de compensation indiqué par l'auteur. Une description complète de la façon dont agit l'appareil se trouve dans le n° 39 de l'*E.T.Z.* de 1922. Comme complément à cette description, nous allons examiner diverses circonstances qui influent sur la méthode de mesure. Nous redonnons (fig. 6) le schéma de montage de l'installation. P_{1a} et P_{1b} représentent les deux parties d'une bobine différentielle sans fuite; de même P_{2a} et P_{2b}, celles d'une deuxième bobine différentielle exactement semblable. La bobine secondaire S est couplée avec les deux bobines différentielles, exactement dans les mêmes conditions (les appareils récents n'ont plus qu'une bobine secondaire). Les conducteurs de liaison avec le câble M sont désignés par 1 et 2, la source de courant par G (générateur) et l'instrument de zéro par T (téléphone). Un condensateur réglable C_0 et une résistance réglable r_0 servent de valeurs d'équilibre. Les conducteurs de liaison sont munis de fourreaux de protection A_1 et A_2 qui sont reliés directement aux pôles de la source de courant G. A part la faible chute de potentiel dans les enroulements P_{1a} et P_{2a}, A_1 et A_2 ont le même potentiel que les conducteurs 1 et 2 correspondant. Donc ceux-ci sont pratiquement sans capacité.

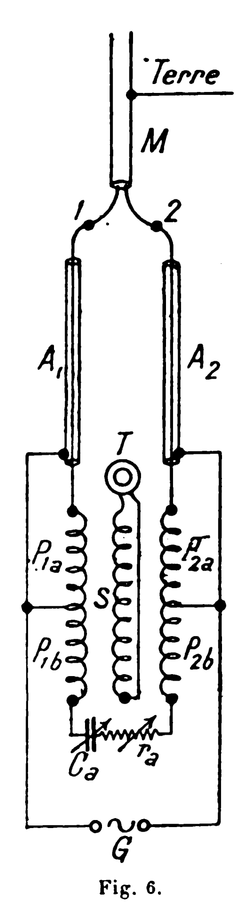


Fig. 6.

Les fourreaux A_1 et A_2 forment avec les fils 1 et 2 des condensateurs qui sont en parallèle sur les enroulements P_{1a} et P_{2a}. Le schéma de la figure 7 en donne une représentation. Le câble y est représenté par le condensateur *c* et les capacités entre conducteurs de liaison et fourreaux de protection par les condensateurs c_a.

Si V est la différence de potentiel aux bornes du condensa-

teur à mesurer c, il passe à travers c un courant alternatif :

$$J = V\,(i\,\omega\,c + a),$$

où c est la capacité, a la perditance du condensateur et ω la pulsation du courant alternatif. Le courant J se partage en deux courants, dont l'un J_w traverse les enroulements P_{1a} ou P_{2a}, l'autre J_a le condensateur c_a. On a donc :

$$J = J_w + J_a.$$

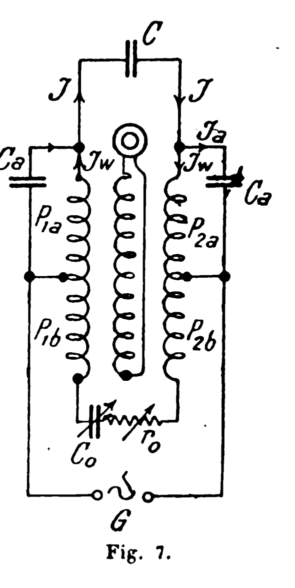


Fig. 7.

Le courant J_w seul produit un effet dans la bobine différentielle, donc c'est lui qu'on mesure au lieu de J, courant cherché. L'erreur qui en résulte peut être évaluée facilement. Les deux courants J_w et J_a sont entre eux comme les conductances imaginaires qu'ils traversent. Pour les enroulements P_{1a} ou P_{2a}, la conductance imaginaire se réduit à la conductance réelle : $\frac{1}{w}$, car à l'équilibre il n'y a aucun champ magnétique dans le compensateur, donc aucune inductance. Il vient donc :

$$\frac{J_w}{J_a} = \frac{\frac{1}{w}}{i\,\omega\,c_a} = \frac{1}{i\,\omega\,c_a\,w}.$$

La perditance du condensateur c_a peut être négligée, car elle est très petite devant $\frac{1}{w}$. De l'égalité précédente, on tire :

$$\frac{_{w}}{J_a + J_w} = \frac{1}{1 + i\,\omega\,c_a\,w},$$

$$\text{ou : } J \;\; = J.\,\frac{1}{1 + i\,\omega\,c_a\,w}.$$

Le produit $\omega\,c_a\,w$ est très petit devant 1. Dans le cas où

$$w = 18 \text{ ohms}, \quad c_a = 3^F \times 10^{-9}, \qquad \omega = 5.000, \text{ on a :}$$

$$w\,c_a\,\omega = 2{,}7 \times 10^{-4}.$$

On peut donc écrire :

$$J_w = J\,(1 - i\,w\,\omega\,c_a),$$

ou, en remplaçant J par sa valeur :

$$J_w = V\,(i\,\omega\,c + a)\,(1 - i\,w\,\omega\,c_a).$$

Effectuant la multiplication et remarquant que $a \leqslant \omega\,c$ et $w\,\omega \leqslant c_a\,1$, il vient, en négligeant les termes d'ordre supérieur :

$$J_w = V\,(i\omega\,c + a + w\,\omega^2\,c_a\,c).$$

La formule montre que la capacité sera mesurée exactement ; mais la perditance sera trop grande de : $w\,\omega^2\,c_a\,c$. Cette valeur est donc à retrancher de la perditance mesurée. La correction $w\,\omega^2\,c_a\,c$ peut être évaluée sans grande perte de temps, car c_a, ω et w sont des constantes de l'appareil ; elle ne dépend donc que de la capacité à mesurer c, et lui est proportionnelle. En général, elle est petite et peut être négligée.

NOTE SUR UNE ANCIENNE EXPÉRIENCE D'ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE,

Par M. JANET, membre de l'Institut.

L'intéressant travail mathématique de MM. Cartan que l'on va lire a pour origine une très ancienne expérience d'électricité appliquée qui a été réalisée dès 1880 (1). Si l'on prend comme génératrice une dynamo à courant continu excitée en série et tournant à vitesse constante, et comme réceptrice un moteur à courant continu à aimants permanents ou excité séparément, on assiste au phénomène suivant : le moteur se lance dans un certain sens, puis il s'arrête, repart en sens inverse, s'arrête de nouveau et ainsi de suite. L'explication sommaire du phénomène est facile et a été donnée par A. Witz en 1888 (2). Sa théorie complète est plus difficile.

Soit i le courant à un instant quelconque dans le circuit, R sa résistance, L sa self induction, que nous supposerons constante, K le moment d'inertie du moteur, k le coefficient de proportionnalité entre sa force contre-électromotrice et sa vitesse angulaire. On a évidemment :

$$(1) \qquad e = Ri + L\frac{di}{dt} + k\omega.$$

D'autre part, d'après une propriété connue, le couple moteur est ki ; on a donc :

$$(2) \qquad ki = K\frac{d\omega}{dt}.$$

En dérivant l'équation (1) et en tenant compte de (2), il vient :

$$\frac{de}{dt} = R\frac{di}{dt} + L\frac{d^2i}{dt^2} + \frac{k^2}{K}i.$$

---

(1) Gérard Lescuyer, *Sur un paradoxe électrodynamique* (C. R. de l'académie des sciences : t. 91 ; page 226, 16 juillet 1880).

(2) C.R. de l'académie des sciences : t. 108, page 1243, 1889.

La force électromotrice e de la dynamo série est reliée au courant i par la relation :

$$e = \mathrm{f}(i),$$

qui représente la caractéristique de la machine. Si l'on tient compte de cette relation, l'équation précédente devient :

$$L\frac{d^2 i}{dt^2} + \left[R - \mathrm{f}'(i)\right]\frac{di}{dt} + \frac{k^2}{K}i = 0.$$

On sait qu'une machine à excitatrice séparée ou à aimants permanents se comporte comme un condensateur de capacité $C = \frac{K}{k^2}$.

L'équation devient :

$$L\frac{d^2 i}{dt^2} + \left[R - \mathrm{f}'(i)\right]\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}i = 0.$$

La fonction $\mathrm{f}'(i)$, comme il est facile de le voir, jouit des propriétés suivantes : Elle ne change pas quand on change i en $-i$, passe, pour $i = 0$, par un maximum que nous supposerons plus grand que R (ce qu'on peut toujours obtenir en faisant R suffisamment petit et en donnant à la dynamo-série une vitesse angulaire suffisante) et s'annule pour $i = \pm \infty$.

L'expérience, comme nous l'avons vu, montre que dans ces conditions il s'établit un régime oscillatoire très stable et parfaitement déterminé. Il serait intéressant de prédéterminer, en fonction des données du problème, la période et l'amplitude des oscillations. C'est là le but du travail de MM. Cartan.

Le coefficient de $\frac{di}{dt}$ étant tantôt positif, tantôt négatif, on serait tenté de prendre, comme valeur approximative de la période :

$$T = 2\pi\sqrt{CL} = 2\pi\frac{\sqrt{KL}}{k},$$

comme s'il s'agissait d'oscillations libres. La durée d'oscillation devrait donc, au moins d'une manière approximative, être proportionnelle à la racine carrée du moment d'inertie, à la racine carrée du coefficient de self-induction, et en raison inverse du

flux utile dans le moteur. Or l'expérience semble prouver qu'il est très loin d'en être ainsi : comme l'ont montré d'intéressantes expériences exécutées à l'Ecole supérieure d'électricité par MM. B. Trutat et G. Bouttes (1), l'influence de la self-induction est faible, la période est proportionnelle plutôt au moment d'inertie qu'à sa racine carrée, et inversement proportionnelle plutôt au carré du flux qu'au flux lui-même. Il est très probable que ces grandes divergences entre la théorie et l'expérience tiennent surtout à la grande variation avec la saturation du coefficient L que l'on a supposé constant. Toutefois, une étude mathématique du genre de celle que l'on va lire présente un grand intérêt pour tous les cas où L peut être considéré comme constant. Or on sait que l'on trouve des équations de la même forme que (1) dans un grand nombre de phénomènes d'oscillations entretenues (arc chantant, oscillateur à lampe, etc...). Toute contribution à l'étude de cette équation sera donc fort utile, et nous devons remercier MM. Cartan de lui avoir consacré l'intéressant travail que l'on va lire.

(1) *R.G.E.*, t. XVII, page 669, 2 mai 1925.

NOTE SUR LA GÉNÉRATION DES OSCILLATIONS ENTRETENUES,

Par Elie et Henri CARTAN.

Soit l'équation différentielle

$$(1) \qquad L\frac{d^2i}{dt^2}+(R-\varphi\ (i))\frac{di}{dt}+\frac{1}{C}\,i=o,$$

où L, R, C désignent des constantes ; $\varphi(i)$ est une fonction paire, décroissante pour i, tendant vers zéro pour i infini, avec $\varphi(o)>R$.

Posons

$$(2) \qquad L\left(\frac{di}{dt}\right)^2+\frac{i^2}{C}=U,$$

il vient par dérivation :

$$(3) \qquad \frac{dU}{dt}=2(\varphi(i)-R)\left(\frac{di}{dt}\right)^2 \text{ ou } \frac{dU}{di}=2(\varphi(i)-R)\frac{di}{dt}.$$

Soit enfin $\pm i_0$ les valeurs pour lesquelles $\varphi\ (i)=R$.

Quand i est intérieur à l'intervalle $(-i_0, +i_0)$, U croît avec t d'après (3) ; quand i est extérieur à cet intervalle, U décroît. En un maximum ou un minimum de i, on a $U=\frac{i^2}{C}$; sinon $U>\frac{i^2}{C}$.

I. — Il est impossible qu'à partir d'un certain instant, i varie toujours dans le même sens, par exemple croisse constamment. En effet ou bien i tendrait vers une limite finie i_1, ou bien i augmenterait indéfiniment. Si i tend vers i_1, $\frac{di}{dt}$ et $\frac{d^2i}{dt^2}$ tendent vers o et (1) donne $i_1=o$; mais alors i finirait par être constamment intérieur à l'intervalle $(-i_0, +i_0)$, U croîtrait *en tendant vers zéro*, ce qui exige U identiquement nul, d'où i identiquement nul ; on aurait la solution banale $i=o$. Si i augmente indéfi-

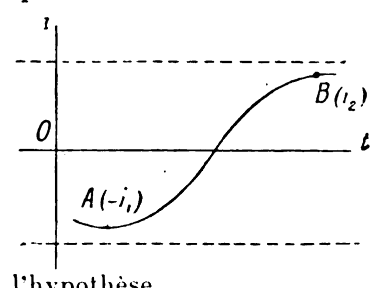
niment, $U > \frac{i^2}{C}$ augmente aussi indéfiniment, mais cela est impossible puisqu'à partir du moment où $i > i_0$, U décroît.

Il résulte de là que la courbe représentant la variation de i est formée d'une infinité de sinuosités. Du reste en un point à tangente horizontale, $\frac{d^2i}{dt^2} = -\frac{1}{CL}\, i$ est de signe contraire à i ; un maximum correspond donc à $i > o$ et un minimum à $i < o$. La courbe coupe chaque fois l'axe des t.

II. — La connaissance d'un minimum $-i_1$ détermine complètement la courbe (puisque, pour une certaine valeur de t, on a la valeur de i ($i = -i_1$) et celle de $\frac{di}{dt} = o$). Soit i_2 le maximum suivant ; i_2 est une fonction continue de i_1, nulle pour $i_1 = o$. A une valeur donnée de i_1 correspond une valeur déterminée de i_2. Réciproquement une valeur donnée de i_2 ne peut provenir que d'une valeur au plus de i_1, sinon on aurait pour l'équation (1) deux solutions correspondant aux mêmes conditions initiales ($i = i_2$, $\frac{di}{dt} = o$).

Par suite i_2 va constamment en croissant avec i_1.

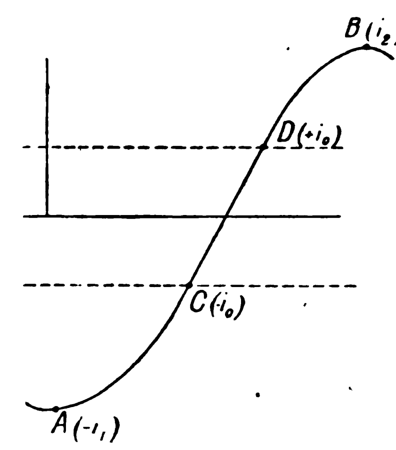
Il est à remarquer que l'équation (1) se conservant par le changement de i en $-i$, on peut aussi regarder $-i_2$ comme le minimum consécutif au maximum précédent i_1.



III. — *Pour i_1 suffisamment petit ($i_1 < i_0$) on a $i_2 < i_1$.* — En effet supposons $i_1 < i_0$ et supposons $i_2 < i_1$; de A en B, U va en croissant ; on devrait donc avoir $\frac{i_2^2}{C} > \frac{i_1^2}{C}$, ce qui est en contradiction avec l'hypothèse.

IV. — *Pour i_2 suffisamment grand, on a $i_2 < i_1$.* — Supposons en effet $i_2 > i_1 > i_0$. La quantité $\sqrt{CU}$ passe de la valeur i_1 en A à la valeur i_2 en B ; elle a donc augmenté ; or, elle ne croît

qu'entre C et D ; il faut donc déjà que la quantité dont elle augmente entre C et D soit supérieure à $i_2 - i_1$. Or, entre C et D, on a



$$\frac{dU}{di} = 2\left[\varphi(i) - R\right]\frac{di}{dt} < \frac{2}{\sqrt{L}}\left[\varphi(i) - R\right]\sqrt{U},$$

$$\frac{d\sqrt{U}}{di} < \frac{1}{\sqrt{L}}\left(\varphi(i) - R\right),$$

d'où, pour la variation de $\sqrt{CU}$, la limite supérieure

$$2\sqrt{\frac{C}{L}}\int_0^{i_0}\left[\varphi(i) - R\right]di = 2\,m\,i_0 \quad (m \text{ const}^{\text{te}} \text{ fixe}).$$

La quantité $\sqrt{CU}$ a donc en $D\,(i = i_0)$ une valeur inférieure à $i_1 + 2m\,i_0$. D'autre part, pour $i_0 < i < i_1$, on a

$$\frac{dU}{di} = -\frac{2}{\sqrt{L}}\left[R - \varphi(i)\right]\sqrt{U - \frac{i^2}{C}},$$

$$\left|\frac{d(CU)}{di}\right| > 2\sqrt{\frac{C}{L}}\left[R - \varphi(i)\right]\sqrt{CU - i_1^2};$$

par suite

$$\sqrt{CU(i_0) - i_1^2} - \sqrt{CU(i_1) - i_1^2} > \sqrt{\frac{C}{L}}\int_{i_0}^{i_1}\left[R - \varphi(i)\right]di,$$

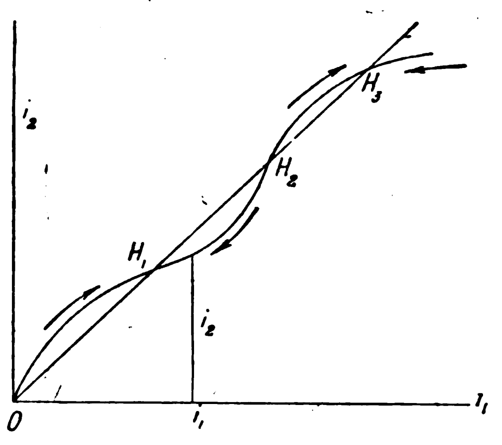
et, à plus forte raison,

$$(4) \qquad \sqrt{(i_1 + 2\,m\,i_0)^2 - i_1^2} > \sqrt{\frac{C}{L}}\int_{i_0}^{i_1}\left[R - \varphi(i)\right]di.$$

Quand i_1 est très grand, le premier membre est de l'ordre de $\sqrt{i_1}$ et le second membre de l'ordre de i_1. L'inégalité est donc impossible au delà d'une certaine valeur de i_1, ce qu'il fallait démontrer.

V. — D'après III et IV, la courbe qui représente i_2 en

fonction de i_1 a la forme ci-contre; elle est d'abord au-dessus de la bissectrice de l'angle des axes ($i_2 > i_1$), puis finit par être au-dessous ($i_2 < i_1$).



Les points H_1, H_2, H_3 où la courbe coupe la bissectrice correspondent à des solutions *périodiques* (oscillations entretenues) *dont l'existence est ainsi démontrée*. Elles sont périodiques parce qu'en partant d'un minimum donné $-i_1$, le maximum suivant est égal à i_1, par suite le minimum suivant à $-i_1$, etc.

On peut maintenant voir facilement que *toute solution tend vers une solution périodique*. Partons d'un minimum initial $-i_1$ compris entre l'abscisse j_1 de H_1 et l'abscisse j_2 de H_2. On aura d'après le graphique $j_1 < i_2 < i_1$, par suite $j_1 < i_3 < i_2$ et ainsi de suite; les maxima et minima successifs vont en décroissant tout en restant supérieurs à j_1. *On a donc des oscillations à amplitudes décroissantes tendant vers l'oscillation entretenue H_1.*

Si au contraire on part d'un minimum initial compris entre l'abscisse j_2 de H_2 et l'abscisse j_3 de H_3, *on aura des oscillations à amplitudes croissantes tendant vers l'oscillation entretenue H_3.*

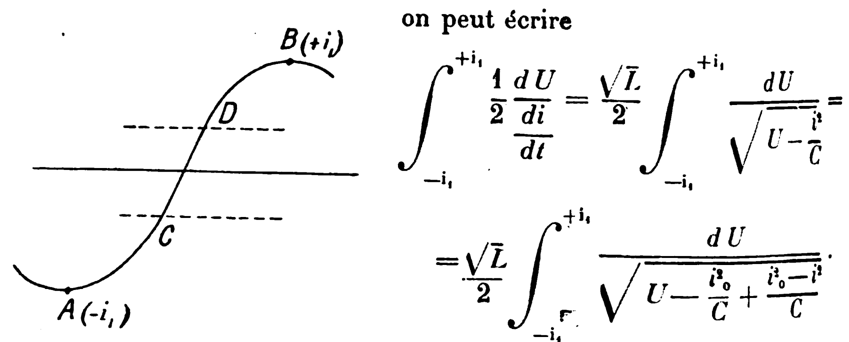
Çela prouve de plus que les oscillations entretenues d'ordre *impair* H_1, H_3... sont *stables*, tandis que les oscillations entretenues d'ordre *pair* H_2 (*s'il y en a*) sont *instables*. Il y a donc toujours au moins une oscillation entretenue stable.

La solution banale $i = o$ est *instable*, l'existence d'un courant, aussi faible soit-il, conduit à l'oscillation entretenue H_1.

CALCUL DE LIMITES SUPÉRIEURES ET INFÉRIEURES POUR L'AMPLITUDE ET LA PÉRIODE DES OSCILLATIONS ENTRETENUES.

VI. — L'amplitude d'une oscillation entretenue est certaine-

ment supérieure à i_0 (III). On peut trouver une limite inférieure meilleure. Considérons une demi-oscillation telle que A B, et l'intégrale $\int_{-i_1}^{+i_1} [\varphi(i) - R]\, di$;



on peut écrire

$$\int_{-i_1}^{+i_1} \frac{1}{2} \frac{\frac{dU}{di}}{\frac{di}{dt}} = \frac{\sqrt{L}}{2} \int_{-i_1}^{+i_1} \frac{dU}{\sqrt{U - \frac{i^2}{C}}} =$$

$$= \frac{\sqrt{L}}{2} \int_{-i_1}^{+i_1} \frac{dU}{\sqrt{U - \frac{i_0^2}{C} + \frac{i_0^2 - i^2}{C}}}.$$

Entre A et C, ou entre D et B, $i_0^2 - i^2 < o$, le dénominateur est plus petit que $\sqrt{U - \frac{i_0^2}{C}}$; d'autre part $dU < o$; donc la quantité sous le signe $\int$ est *inférieure* à $\frac{dU}{\sqrt{U - \frac{i_0^2}{C}}}$. D'autre part entre C et D, $i_0^2 - i^2 > o$, le dénominateur est plus grand que $\sqrt{U - \frac{i_0^2}{C}}$, mais $dU > o$, le résultat est donc le même. Par suite on a

$$\int_{-i_1}^{+i_1} [\varphi(i) - R]\, di < \sqrt{L} \int \frac{dU}{2\sqrt{U - \frac{i_0^2}{C}}} =$$

$$= \sqrt{L} \int_{-i_1}^{+i_1} d\left(\sqrt{U - \frac{i_0^2}{C}}\right).$$

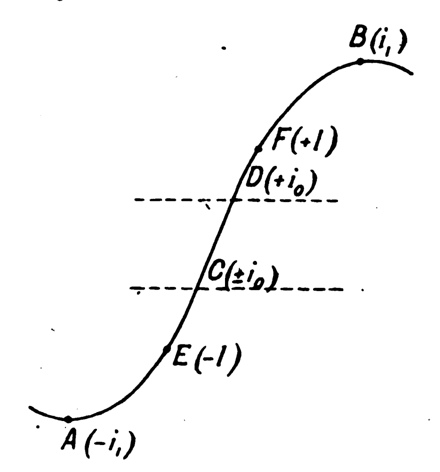
Comme $\sqrt{U}$ et par suite $\sqrt{U - \frac{i_0^2}{C}}$ a la même valeur $\sqrt{\frac{i_1^2 - i_0^2}{C}}$ en A et en B, on arrive à l'inégalité

$$\int_{0}^{i_1} [\varphi(i) - R]\, di < o.$$

On a donc une limite inférieure de l'amplitude en prenant la valeur I_0 de i pour laquelle l'aire hachurée est algébriquement nulle :

$$(5) \qquad \int_{i_0}^{I_0} [R - \varphi(i)]\, di = \int_{0}^{i_0} [\varphi(i) - R]\, di.$$

VII. — Cherchons maintenant une limite supérieure de l'amplitude. Entre A et B, nous avons vu que la fonction $\sqrt{CU}$ avait une oscillation inférieure à $2\, mi_0$; par suite cette fonction est constamment supérieure à $i_1 - 2\, mi_0$.



Prenons deux points E, F d'ordonnées $\pm I$ ($i_0 < I < i_1$) ; on a entre E et F

$$\frac{d\sqrt{U}}{di} = \frac{1}{\sqrt{L}}[\varphi(i) - R]\sqrt{1 - \frac{i^2}{CU}}.$$

Or entre E et F, on a

$$\frac{i^2}{CU} < \frac{I^2}{CU} < \frac{I^2}{(i_1 - 2\, mi_0)^2}.$$

Prenons :

$$I = \varepsilon(i_1 - 2\, mi_0) \quad \left(\text{en supposant } i_1 > 2\, mi_0 + \frac{i_0}{\varepsilon}\right),$$

ε étant un nombre fixe compris entre 0 et 1 et que nous choisirons tout à l'heure. On aura donc entre E et F

$$\frac{d\sqrt{U}}{di} = \frac{1}{\sqrt{L}}(\varphi(i) - R)\sqrt{1 - \theta\varepsilon^2} \qquad (o < \theta < 1).$$

L'accroissement global de $\sqrt{U}$ entre E et F est certainement positif (puisqu'entre A et B il est nul et qu'entre A et E, F et B, il est négatif). On a donc

$$\int_{-I}^{+I} (\varphi(i) - R)\sqrt{1 - \theta \varepsilon^2}\, di > o,$$

ou, en augmentant le 1[er] membre,

$$2\int_{o} (\varphi(i) - R)\, di - 2\sqrt{1-\varepsilon^2} \int_{i_0}^{I} \big(R - \varphi(i)\big)\, di > o,$$

ou enfin

$$\int_{i_0}^{I} \big(R - \varphi(i)\big)\, di < \frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} \int_{o}^{i_0} (\varphi(i) - R)\, di.$$

Cette inégalité donne pour I une limite supérieure I_1 bien définie, puisque le premier membre augmente indéfiniment avec la limite supérieure d'intégration. Il en résulte

$$\varepsilon\,(i_1 - 2\,mi_0) < I_1,$$

$$(6) \qquad i_1 < 2mi_0 + \frac{1}{\varepsilon} I_1.$$

La quantité I_1 est, en tenant compte de la relation (5), donnée par l'égalité

$$(7) \qquad \int_{i_0}^{\mathrm{I}_1} [R - \varphi(i)]\, di = \frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon^2}} \int_{i_0}^{\mathrm{I}_0} [R - \varphi(i)]\, di.$$

Elle est donc supérieure à I_0 ; comme la fonction $R - \varphi(i)$ est croissante, on a

$$\int_{\mathrm{I}_0}^{\mathrm{I}_1} [R - \varphi(i)]\, di > \frac{\mathrm{I}_1 - \mathrm{I}_0}{\mathrm{I}_0 - i_0} \int_{i_0}^{\mathrm{I}_0} [R - \varphi(i)]\, di,$$

et par suite

$$\int_{i_0}^{\mathrm{I}_1} [R - \varphi(i)]\, di > \left(1 + \frac{\mathrm{I}_1 - \mathrm{I}_0}{\mathrm{I}_0 - i_0}\right) \int_{i_0}^{\mathrm{I}_0} [R - \varphi(i)]\, di.$$

En portant dans (7), on obtient

$$\frac{\mathrm{I}_1 - i_0}{\mathrm{I}_0 - i_0} < \frac{1}{\sqrt{1-\varepsilon^2}}.$$

L'inégalité (6) devient alors

$$i_1 < 2\,mi_0 + \frac{1}{\varepsilon}\, i_0 + \frac{1}{\varepsilon\sqrt{1-\varepsilon^2}} (\mathrm{I}_0 - i_0).$$

En faisant enfin $\varepsilon = \dfrac{1}{\sqrt{2}}$ (l'inégalité étant valable quel que soit ε compris entre 0 et 1), on obtient

$$(8) \qquad i_1 < 2\,\mathrm{I}_0 + (2\,m - 2 + \sqrt{2})\, i_0 < 2\,\mathrm{I}_0 + 2\,mi_0.$$

On peut avoir une autre limite supérieure en partant de l'inégalité (4) (§ IV). On a en effet, en raisonnant comme pour le premier membre de (7),

$$\int_{I_0}^{i_1}[R-\varphi(i)]\,di > \frac{i_1-i_0}{I_0-i_0}\int_{i_0}^{I_0}[R-\varphi(i)]\,di > \frac{i_1}{I_0}\int_{i_0}^{I_0}[R-\varphi(i)]\,di.$$

L'inégalité (4) devient, en tenant compte de (5),

$$\sqrt{(i_1+2mi_0)^2-i_1^2} > \frac{i_1}{I_0}\sqrt{\frac{C}{L}}\int_0^{i_0}[\varphi(i)-R]\,di,$$

d'où, d'après la définition de m,

$$\sqrt{(i_1+2mi_0)^2-i_1^2} > \frac{mi_0 i_1}{I_0}.$$

En résolvant on obtient

$$(9)\qquad i_1 < \frac{2I_0\left(I_0+\sqrt{I_0^2+m^2i_0^2}\right)}{mi_0} < \frac{2I_0(2I_0+mi_0)}{mi_0} = 2I_0 + \frac{4I_0^2}{mi_0}$$

On prendra la plus petite des deux limites fournies par les inégalités (8) et (9) ; c'est la première qui servira pour m petit, la seconde pour m grand.

On peut déduire de cette remarque un résultat théorique remarquable. Des deux quantités $2\,mi_0$ et $\frac{4I_0^2}{mi_0}$, dont le produit est égal à $8\,I_0^2$. l'une est toujours inférieure à $\sqrt{8I_0^2}=2I_0\sqrt{2}$. Par suite l'une au moins des limites fournies par (8) et (9) est inférieure à $2I_0+2I_0\sqrt{2}$; on a donc toujours

$$(10)\qquad i_1 < 2\left(\sqrt{2}+1\right)I_0.$$

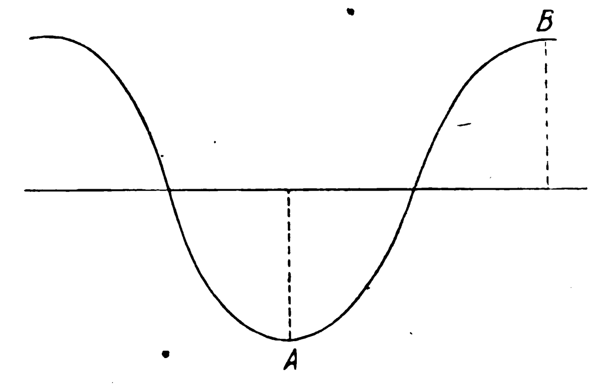
Ce résultat a cela de remarquable que la limite trouvée ne dépend que de la fonction $\frac{\varphi(i)}{R}$, *mais non de* L *et de* C.

VIII. — On a facilement une limite inférieure de la durée d'une demi-oscillation. En effet, on a, d'après un résultat précédent (§ III),

$$\sqrt{CU} < i_1+2m\,i_0.$$

Or on a

$$dt = \frac{\sqrt{L}\,di}{\sqrt{U - \frac{i^2}{C}}} > \frac{\sqrt{CL}\,di}{\sqrt{(i_1 + 2mi_0)^2 - i^2}},$$



$$T > \int_{-i_1}^{+i_1} \frac{\sqrt{CL}\,di}{\sqrt{(i_1 + 2m\,i_0)^2 - i^2}} = 2\sqrt{CL}\ \text{arc sin}\ \frac{i_1}{i_1 + 2m\,i_0},$$

$$T > 2\sqrt{CL}\ \text{arc sin}\ \frac{I_0}{I_0 + 2m\,i_0}.$$

La limite inférieure ainsi obtenue ne fait pas intervenir l'amplitude.

IX. — Pour avoir une limite supérieure de la durée $T = Ob$ d'une demi-oscillation entretenue ACB, nous allons substituer à l'arc AC un autre arc AC_1, s'étalant davantage, et de même substituer à l'arc BC l'arc BC_2. Chacun de ces arcs auxiliaires correspondra à une solution d'une équation différentielle

$$L\frac{d^2i}{dt^2} + S\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}i = o$$

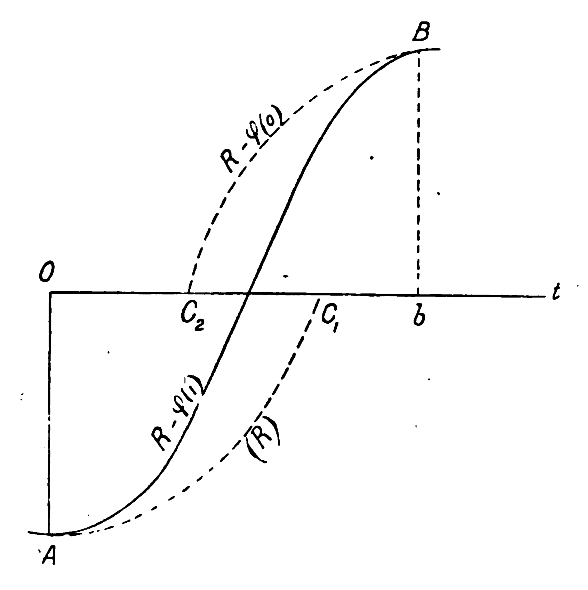
à résistance S *constante* (positive ou négative).

Il en sera ainsi si on prend, pour l'arc inférieur $S > R - \varphi(i)$, et pour l'arc supérieur $S < R - \varphi(i)$.

Démontrons par exemple qu'il en sera ainsi pour l'arc inférieur. La courbe donnée et la courbe auxiliaire pointillée satisfont respectivement aux deux équations

$$L\frac{d^2i}{dt^2}+\left(R-\varphi(i)\right)\frac{di}{dt}+\frac{i}{C}=o$$

$$L\frac{d^2i}{dt^2}+S\frac{di}{dt}+\frac{i}{C}=o,$$



ou encore, en posant $\frac{di}{dt}=i'$ pour la 1[re], $\frac{di}{dt}=i'_1$ pour la seconde :

$$L\frac{di'}{di}+R-\varphi(i)+\frac{i}{C}\cdot\frac{1}{i'}=o,$$

$$L\frac{di'_1}{di}+S+\frac{i}{C}\cdot\frac{1}{i'_1}=o,$$

d'où

$$L\frac{d(i'-i'_1)}{di}+(R-\varphi(i)-S)+\frac{i}{C}\cdot\frac{i_1'-i'}{i'i'_1}=o.$$

Au point A, on a $i'=i'_1=o$, $i'-i'_1=o$. La fonction $i-i'_1$ de la variable i ne peut pas commencer par décroître, car chacun des trois termes du premier membre serait négatif; donc $i'-i'_1$ commence par être positif. Cette fonction ne peut jamais (i variant entre $-i_1$ et o) s'annuler, car la première fois qu'elle s'annulerait $\frac{d(i'-i'_1)}{dt}$ serait négatif, les deux premiers termes de

l'équation seraient donc négatifs et le dernier serait nul. On a donc constamment, pour une même valeur quelconque de i, $i' > i'_1$, par suite

$$\int_{-i_1}^{o} \frac{di}{i'} < \int_{-i_1}^{o} \frac{di}{i'_1}, \quad \overline{OC} < \overline{OC_1}.$$

La démonstration serait analogue pour l'arc supérieur.

Nous pourrons prendre :

sur l'arc inférieur $S = R$,

sur l'arc supérieur $S = R - \varphi(o)$.

Pour calculer maintenant OC_1, par exemple, partons de la solution de l'équation

$$L\frac{d^2 i}{dt^2} + S\frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = o$$

qui pour $t=o$ correspond à $i = -i_1$, $\frac{di}{dt} = o$. On trouve

$$i = -i_1 e^{-\frac{S}{2L}t}\left(\cos\omega t + \frac{S}{2L\omega}\sin\omega t\right), \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{S^2}{4L^2}}.$$

La valeur $OC = t_1$ est donnée par

$$\operatorname{tg}\omega t_1 = -\frac{2L\omega}{S},$$

$$\overline{OC_1} = t_1 = \frac{\pi}{\omega} - \frac{1}{\omega}\operatorname{arc\,tg}\frac{2L\omega}{S}, \quad \omega = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}, \quad S = R.$$

On trouve de même pour l'arc supérieur :

$$\overline{C_2 b} = t_2 = \frac{1}{\omega'}\operatorname{arc\,tg}\frac{2L\omega'}{S'}, \quad \omega' = \sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{(\varphi(o) - R)^2}{4L^2}},$$

$$S' = \varphi(o) - R.$$

Par suite :

$$T < \frac{\pi}{\omega} - \frac{1}{\omega}\operatorname{arc\,tg}\frac{2L\omega}{R} + \frac{1}{\omega'}\operatorname{arc\,tg}\frac{2L\omega'}{\varphi(o) - R}.$$

Dans le cas particulier où $\varphi(o) - R = R$, on a simplement

$$T < \frac{\pi}{\sqrt{\frac{1}{CL} - \frac{R^2}{4L^2}}} = \pi\frac{\sqrt{CL}}{\sqrt{1 - \frac{CR^2}{4L}}}.$$

On pourra toujours pratiquement se ramener à ce cas simple en remplaçant R par le plus grand des deux nombres R et $\varphi(io)-R$.

Le calcul suppose néanmoins

$$R^2 < \frac{4L}{C}, \left(\varphi(o)-R\right)^2 < \frac{4L}{C}.$$

La plupart des résultats subsisteraient (abstraction faite de la symétrie) si la fonction $\varphi(i)$ n'était pas paire.

Problème non résolu. — Ne pourrait-on démontrer qu'il n'y a qu'*une* oscillation entretenue ?

INFORMATION.

Banquet de l'Association des anciens élèves de l'Ecole professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes. — Cette année encore, a eu lieu le banquet de l'Association des anciens élèves de l'Ecole professionnelle supérieure des Postes et Télégraphes. Cette cérémonie, qui avait été organisée par M. Bélanger, directeur régional, a été de tout point réussie. M. l'inspecteur général Ferrière, directeur du service de l'Inspection générale, a exposé les vœux de l'association ; M. de Lirac, dans un speech très spirituel, a souhaité la bienvenue au ministre; le directeur de l'Ecole a parlé du rôle de la science dans le développement de la technique ; le ministre, qui avait tenu à honorer le banquet de sa présence, a, dans une causerie toute d'actualité, exposé les idées directrices de sa politique et les devoirs des chefs à l'égard du personnel. Les applaudissements, qui ont à mainte reprise souligné ses paroles, prouvent que le personnel d'élite qui l'écoutait avec toute sa sympathique déférence, avait compris son appel.

Nous extrayons un passage de l'allocution de M. Pomey :

« Récemment, M. Hugo Wilkinson Iervey, doyen de la faculté de droit à l'université Columbia, disait que l'ancienne philosophie dédaignait d'être utile. Macaulay nous rappelle, ajoutait-il, que Sénèque proclamait que le principe de la clé de voûte n'avait en soi aucune importance. Peu importe au sage qu'il ait sur sa tête une voûte ou le ciel pour toit. Les inventions ne faisaient pas partie de sa philosophie : « A ce compte, le premier qui fit un soulier, dit Sénèque serait un philosophe ». Macaulay commente ces paroles et, songeant au traité contre la colère composé par ce même Sénèque, il se demande s'il est plus fâcheux de se mettre en colère que de se faire mouiller, observant que de bonnes chaussures ont empêché des millions de pieds d'être trempés, tandis qu'il n'est pas sûr que le philosophe Sénèque, avec son traité, ait jamais guéri un colérique.

« La philosophie grecque ne cultivait la science que pour sa

beauté propre et Archimède lui-même était presque honteux de ses inventions pratiques, quoique ces découvertes aient fait l'admiration de tous les siècles. Cette tendance vers l'abstraction a empêché les Grecs d'accorder à l'expérience la part qui lui revenait de droit, et il a fallu un Bacon pour inaugurer les méthodes modernes. Il renouait la liaison interrompue avec la science antique ; mais en même temps, il montrait la voie nouvelle.

« L'alliance de l'expérimentation avec la spéculation pure a fait merveille ; mais on est trop porté à considérer comme oiseuses les théories dont on ne voit pas l'application immédiate. C'est contre cette tournure d'esprit que je veux vous mettre en garde, en me bornant à trois exemples mémorables de la fécondité des théories.

« Certes, il n'y a pas de découverte qui ait eu une plus grande influence sur l'esprit humain que celle de l'attraction universelle par Newton : ainsi a été créée l'astronomie moderne avec ses applications à l'art de naviguer ; ainsi a été confirmée la mécanique rationnelle, d'où procède tout le machinisme de notre âge. Mais l'attraction universelle n'aurait pu être trouvée, si Apollonius de Perga, qui vivait à Alexandrie vers l'an 200 avant Jésus-Christ, n'avait découvert, à cette époque reculée, les propriétés des sections coniques et rendu possible par là même l'étude de la trajectoire décrite par les planètes. C'est donc une théorie géométrique abstraite, due à l'antiquité, qui a ouvert la voie à une nouvelle conception de l'univers et amené une révolution de la pensée humaine.

« De même, vers 1890, le mathématicien italien Ricci a imaginé le calcul différentiel absolu ; et c'est lui qui a permis à Einstein de formuler une théorie nouvelle de la gravitation. Sans le calcul de Ricci, il n'y aurait eu aucune langue pour faire connaître les conceptions géniales d'Einstein.

« Mais revenons à des sujets qui nous sont plus familiers. Vous savez quelles sommes considérables sont demandées au parlement pour l'exécution d'un vaste réseau de câbles téléphoniques souterrains, et une conférence internationale qui vient de se clore, il y a quelques jours à peine, a montré tout l'espoir que les nations

nourrissent de se relier les unes aux autres par des câbles téléphoniques. Or tous ces câbles seront pupinisés ; qu'on supprime les bobines Pupin et il n'y a plus de téléphonie internationale à très grande distance. Voilà donc une invention qui se trouve avoir des conséquences économiques incalculables. Quelle est donc son origine ?

« Il m'a été donné, pendant la guerre, d'entrer en relations personnelles avec Pupin, au cours de la mission que j'effectuais aux Etats-Unis en liaison avec la mission scientifique française. Pupin est Serbe de naissance, mais il est naturalisé Américain. Dans sa jeunesse, il était pâtre, il vivait dans les montagnes de son pays. Les jeunes pâtres avaient entre eux un moyen de communiquer très original, au moyen d'une lame de poignard qu'ils plantaient dans le sol et qu'ils faisaient vibrer ; ils écoutaient l'oreille contre terre ; ils savaient bien quels étaient les terrains propices à la transmission du son et que les brigands cachés dans les blés sur un sol mauvais ne pouvaient surprendre les signaux d'avertissement qu'ils s'envoyaient de berger à berger. C'est dans les pâturages de son pays natal qu'il commença à réfléchir à la propagation du son. Plus tard, il s'agissait pour lui de la propagation des ondulations téléphoniques. C'était un sujet traité par l'illustre Heaviside ; mais Pupin a déclaré souvent qu'il ne devait rien au savant anglais; il aimait, au contraire, à se proclamer le disciple de Lagrange. C'est, en effet, dans la mécanique analytique de Lagrange qu'il a pu lire la solution du problème relatif aux vibrations d'une corde à laquelle sont fixées des masses équidistantes. Pour que le mouvement d'un fil, sollicité par l'inertie de masses discrètes réparties à une certaine équidistance, soit assimilable au mouvement d'une corde homogène, il faut que les masses soient suffisamment rapprochées, et Pupin a trouvé la règle pratique qu'il y avait lieu d'observer. Il a indiqué l'espacement à donner le long d'un câble téléphonique aux bobines de pupinisation qui le chargent et qui lui donnent l'inertie nécessaire pour vaincre les réactions élastiques et transporter la parole téléphonée.

« Ainsi donc, c'est un problème de pure théorie, traité en 1788, à la veille de la Révolution, qui donne, à l'aurore du vingtième siècle, la clé de la téléphonie internationale. »

BIBLIOGRAPHIE.

Le secret professionnel dans l'administration des Postes, Télégraphes et Téléphones, par Roger Lacombrade, docteur en droit. Paris, bibliothèque du Courrier des examens des P.T.T., 1925. — 1 vol. in-8°. Prix : 3 francs.

L'observation du secret professionnel, du secret des correspondances tout particulièrement, est l'honneur du personnel des P.T.T.. M. Roger Lacombrade a consacré à cette question une étude qui vient de paraître dans la bibliothèque du Courrier des examens des P.T.T.. Il étudie d'abord le fondement philosophique, moral et juridique de ce secret. Il le fait reposer sur le droit de propriété, sur la liberté de penser, sur l'inviolabilité du domicile privé, sur l'idée de mandat, de dépôt nécessaire et de contrat de louage d'ouvrage. Après avoir succinctement rappelé l'historique du principe de l'inviolabilité des correspondances sous les régimes politiques qui se sont succédé depuis Louis XI, l'auteur commente les dispositions du code pénal qui sanctionnent la violation du secret et sur lesquelles reposent les prescriptions administratives. L'un de ces textes est spécial à la suppression et à l'ouverture des correspondances, c'est l'art. 187 du code pénal ; mais il en est un autre, plus général, l'art. 378 du même code, qui punit la révélation des secrets confiés à « toutes personnes dépositaires, par état ou profession, des secrets qu'on leur confie ». Or la loi du 9 novembre 1850 relative à la correspondance télégraphique ne se réfère qu'à l'art. 187, dans son art. 5 relatif à la violation du secret de la correspondance télégraphique. M. Lacombrade voit dans cette disposition de la loi de 1850 une inadvertance du législateur qui ne songea pas à la spécialité de l'art. 187 et oublia qu'un autre texte du code pénal, l'art. 378, avait une portée plus générale. Il en résulte, dans la législation postale et télégraphique, un défaut d'harmonie, puisque les art. 378 et 187 sont applicables à la révé-

lation du secret postal, tandis que le dernier de ces textes paraît seul devoir punir la violation du secret de la correspondance télégraphique.

Toutes les correspondances, qu'il s'agisse de lettres, de cartes postales, de journaux ou d'imprimés, sont protégées par le secret professionnel: Tous les agents, qu'ils soient commissionnés ou auxiliaires, qu'ils aient ou n'aient pas prêté serment, sont tenus à ce secret. La violation de cette obligation professionnelle est punissable dès qu'elle est *intentionnelle*, alors même qu'elle aurait été commise *sans intention de nuire*. Cette intention, ainsi que le dit l'auteur, « aggrave ou diminue la culpabilité, mais reste sans effet en ce qui concerne l'imputabilité. » De même, l'absence de préjudice est sans influence quant à l'application des art. 187 et 378 du code pénal. L'absence de préjudice ne peut avoir pour conséquence que de rendre impossible l'exercice de l'action civile en dommages et intérêts basée sur l'art. 1382 du code civil, mais elle n'empêcherait pas l'exercice de l'action publique.

Un chapitre traite des diverses dérogations apportées, pour des considérations d'intérêt public, à l'obligation au secret professionnel : saisie des correspondances ou témoignage des agents des P.T.T. en matière correctionnelle ou criminelle, communication de renseignements aux agents des administrations financières, délivrance des correspondances adressées à des commerçants faillis, envoi en rebut des correspondances non distribuées. A signaler, dans cette partie de l'étude, l'étendue des droits reconnus au juge d'instruction, en application des art. 87 et 88 du code d'instruction criminelle.

Le dernier chapitre est consacré à la question de savoir si l'administration peut être déclarée civilement responsable des dommages résultant, pour les particuliers, de la violation du secret professionnel. En l'état de la législation, l'auteur répond par la négative. Les particuliers lésés ne peuvent avoir de recours civil que contre les agents coupables. L'étude se termine par le rappel de l'arrêt du conseil d'État du 7 juillet 1922 (affaire le Globaec), qui fait une obligation pour l'administration de faire connaître aux particuliers intéressés le nom de l'agent responsable d'une faute

personnelle invoquée comme motif d'une action en dommages et intérêts suivie contre cet agent.

Instruction pratique sur le téléphone et la signalisation dans l'infanterie, l'artillerie, la cavalerie, à l'usage des gradés, des maîtres-spécialistes, élèves maîtres-spécialistes, téléphonistes et signaleurs, mécaniciens-électriciens (chargés de l'entretien du matériel), par R. Burlet, lieutenant d'artillerie. — Paris, Gauthier-Villars et Cie, 1925. — Un volume in-8° de 236 pages, avec 121 fig.. Prix 12 francs.

L'abondance du matériel téléphonique dont sont dotés actuellement les différents services de l'armée et le temps dont on dispose maintenant, permettent une instruction et un entraînement rationnels du personnel.

Le service à court terme exige, eu égard à la variété et aux complications du matériel à servir, une méthode d'instruction rigoureuse qui doit, avant tout, viser *à la pratique*. Mais la pratique seule ne suffit pas. L'élève téléphoniste doit posséder un guide pratique lui permettant de suivre les cours avec fruit et d'étudier à loisir.

Ce livre a été fait à son intention, il permettra en outre à l'instructeur d'éviter les dictées longues, qui demandent beaucoup de temps, ainsi que la copie des schémas. Sa tâche sera donc singulièrement facilitée.

Il est également adressé à l'élève maître-spécialiste, au maître spécialiste, au mécanicien-électricien chargé d'entretenir le matériel en bon état et qui doit être à même d'effectuer les menues réparations, enfin à tous les gradés et élèves gradés qui doivent avoir les notions suffisantes sur le téléphone et la manière d'installer les lignes et sur la signalisation optique et à bras.

Il est mis sous une forme simple, à la fois théorique et essentiellement *pratique* ; il est facilement assimilable parce qu'illustré de nombreuses figures ou schémas qui facilitent à la fois l'étude et la claire compréhension et, par cela même, il est à la portée de tous. Les conseils pratiques, tant au point de vue technique qu'au point de vue de la manière de conduire l'instruction, n'ont pas été ména-

gés. Les procédés mentionnés, fruit de l'expérience de la dernière guerre, ont le grand avantage de se plier aux diverses exigences du combat (guerre de mouvement ou de position). Toutes les méthodes peuvent être appliquées, parce qu'elles tiennent compte de l'emploi du matériel détenu par les unités.

Les montages modernes en radiophonie, par HEMARDINQUER. Préface du d[r] Corret. Paris, Chiron, éditeur. — 2 volumes. Prix : 15 francs l'un.

Dans le premier volume l'auteur passe d'abord en revue les divers éléments constitutifs des postes de réception et des appareils d'accord les plus modernes ; il donne, pour chacun d'eux, une description détaillée, l'indication des matières premières nécessaires et tous les conseils utiles à la réalisation. Viennent ensuite les descriptions des postes simples : postes à galène, lampes détectrices à réaction, lampes amplificatrices et détection à galène. Des données sur les constructions des hétérodynes des différents modèles terminent ce premier volume. Dans le second volume sont décrits, par ordre de complexité croissante, les montages modernes permettant la réception des émissions radiotéléphoniques ou radiotélégraphiques sur les longueurs d'ondes usuelles, même les plus courtes. Une importance particulière a été réservée aux postes à résonance, et tous les montages spéciaux à grande puissance sont décrits en détail : leur réglage, toujours délicat, est exactement indiqué. Dans l'un comme dans l'autre volume, les descriptions sont illustrées de schémas détaillés, et, le plus souvent aussi, de photographies ou de dessins en perspective qui permettent de se rendre un compte exact des appareils et des montages réalisés.

Lignes électriques aériennes à haute tension, par Jules C. BRULL. Paris, Desforges, Girardot et C[ie], 1925. — 1 vol. in-16 br. de 66 pages avec nombreux tableaux. Prix : 5 francs (franco : 5[f],30).

Ce petit ouvrage traite du calcul des lignes électriques aériennes au point de vue mécanique : calcul des flèches et tension des conducteurs, application aux pylônes, emploi des poteaux de

bois comme supports de lignes. Les exemples numériques qu'il contient rendront service à tous ceux, nombreux aujourd'hui, qui ont à établir des projets de lignes aériennes.

Piles primaires et accumulateurs, par Ch. Féry, Ch. Chèneveau et G. Paillard. Paris, J.-B. Baillière, 1925. — 1 vol. in-8° de 684 pages avec 290 figures.

Cet ouvrage appartient à l'importante Encyclopédie d'électricité industrielle éditée par J.-B. Baillière sous la direction de M. A. Blondel. M. Blondel ne pouvait mieux s'adresser qu'à M. Féry pour la rédaction d'un tel ouvrage ; nos lecteurs ont pu prendre connaissance des travaux de M. Féry sur les piles et aussi sur les accumulateurs. M. Féry, qui est professeur depuis de longues années à l'École de Physique et de Chimie, a fait d'ailleurs de nombreux travaux dans les diverses branches de la physique, et plusieurs des appareils qu'il a imaginés sont sortis du domaine du laboratoire pour se répandre largement dans l'industrie. Nous ne citerons que les principaux : réfractomètre pour la recherche des falsifications et qui donne sans calcul et par lecture directe sur une échelle l'indice de réfraction à $\frac{1}{10.000}$; horloges électriques, construites par la Société Brilici-Magneta ; pyromètres à radiations calorifiques donnant, par visée sur un four, la température de ce dernier sur l'échelle d'un galvanomètre transportable ; bombe calorimétrique thermo-électrique, pour la mesure instantanée et sans calcul, du pouvoir calorifique d'un combustible ; spectrographe à prisme de quartz d'un principe tout à fait nouveau et donnant en quelques secondes une photographie de 22 centimètres de largeur, du spectre d'un métal ou alliage ; spectrophotomètre pour le dosage des matières colorantes, dispensant le chimiste des calculs par logarithmes auxquels conduit la loi exponentielle de l'absorption.

En ce qui concerne les piles, M. Féry a apporté sa contribution à cette importante question, en imaginant un élément à sel ammoniac et sans bioxyde de manganèse, et dont la dépolarisation est due à l'action, bien plus constante, de l'oxygène de l'air.

Cette pile, dont plus de 250.000 éléments ont déjà été fabriqués, a été décrite ici même par M. Reynaud-Bonin (1). C'est à M. Féry également qu'on doit une nouvelle théorie de l'accumulateur au plomb, qui l'a conduit à la construction d'un nouvel élément complètement insulfatable (2).

Pour mener rapidement à bien l'important travail dont il était chargé, M. Féry s'est adjoint deux collaborateurs : MM. Chéneveau et Paillard. M. Chéneveau, qui fut pendant plusieurs années le chef des travaux de M. Féry à l'École de Physique et de Chimie, est actuellement directeur technique de l'École d'électricité industrielle de Paris, et chef de travaux à la faculté des sciences de Paris. M. Chèneveau, qui a publié seul ou en collaboration avec M. Féry de nombreux travaux, est également l'auteur de plusieurs appareils de physique appréciés ; nous citerons sa balance magnétique, une balance pour la mesure rapide des densités des liquides, son électromètre, son néphélomètre, et enfin un appareil dynamométrique pour l'essai industriel des caoutchoucs. Très versé dans les mesures électriques de précision de laboratoire, M. Chèneveau était tout désigné pour mener à bien la rédaction du chapitre ayant trait aux piles étalons et aux méthodes de mesure employées pour l'étude du rendement des piles et accumulateurs.

La haute compétence industrielle de M. G. Paillard, qui fut ingénieur de plusieurs firmes s'occupant de la fabrication des piles ou accumulateurs (Hydra, Dinin), rendait son concours extrêmement précieux. M. Paillard avait d'ailleurs déjà écrit un ouvrage sur les accumulateurs. C'est à lui qu'est due, dans l'ouvrage dont nous parlons, la liste des brevets récents (1915 à 1925) se rapportant aux perfectionnements apportés à ces générateurs de courant et qui termine l'ouvrage. Sur ces matières industrielles, les brevets sont encore la meilleure source à consulter et cette liste sera très utile à ceux qui s'occupent de ce genre de questions.

Ajoutons que la partie théorique de l'ouvrage renferme de

---

(1) *Annales des P. T. T.*, juillet-août 1922, n° 4, p. 740.
(2) *Annales des P. T. T.*, décembre 1924, n° 13.

nombreux renvois, permettant au lecteur de recourir aux mémoires originaux cités.

Cet ouvrage constitue actuellement le document le plus complet sur les piles et accumulateurs.

Les études littéraires françaises, revue paraissant tous les deux mois. Rédaction et administration : 6, rue de la Sorbonne, Paris Ve. Chaque numéro d'environ 80 pages.

Nous ne parlerions pas de cette revue dans les *Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones*, si nous n'avions, parmi nos lecteurs, un certain nombre de jeunes gens qui se préparent aux examens de rédacteur de l'administration ou aux cours de la première section de l'École supérieure. Sans doute, la plupart de ces candidats suivent-ils les cours très bien faits de M. Naud ; et, d'autre part, l'épreuve de rédaction n'est pas destinée à mettre en évidence la connaissance de la littérature : cette épreuve concerne l'art de rédiger et non l'érudition. Cependant la littérature n'est pas seulement la forme de la pensée : elle exprime aussi le fonds des idées et des sentiments ; et une préparation aux épreuves de langue et de littérature françaises des examens universitaires ne peut pas être sans utilité pour ceux qui aspirent à nos fonctions de direction.

Le bulletin que je présente à nos lecteurs est destiné aux étudiants en lettres françaises, et il constitue une suite de leçons et de travaux appropriés à leurs études. Le comité de patronage a à sa tête M. F. Brunot, doyen de la faculté des lettres ; le directeur est M. L. Broche ; les rédacteurs sont des professeurs agrégés. Il y a un service de correction des copies. Pour donner la physionomie de ce périodique, citons quelques articles : tout d'abord une conférence faite au collège de la Guilde sur *L'idée d'une société des nations à travers la pensée et la littérature françaises*, où l'on voit par de nombreuses citations le rôle joué par la France dans l'élaboration de cette institution généreuse. Dans la littérature contemporaine, on passe en revue quelques poètes du Massif Central, ce qui intéresse à coup sûr ceux de nos collègues qui sont membres de notre association littéraire : la Boite aux lettres. Ensuite, nous avons une série d'articles pratiques concernant les sujets de rédaction, avec

bibliographie, conseils, plan détaillé ; voici quelques-uns de ces textes : 1° Dans quelle mesure est-il juste de soutenir que Racine est un poète tendre ? 2° Montrer que le poète dont Boileau nous trace le modèle ne correspond plus à l'idée que nous nous faisons de la poésie, surtout depuis le romantisme ; 3° Expliquez et appréciez cette opinion d'Amiel : « Ceux qui n'ont pas souffert sont légers » (il faut dégager le sens, en découvrir les raisons, faire les réserves qui s'imposent, envisager les applications à la conduite). Une autre partie de chaque numéro a pour objet l'explication des textes, les exemples étant empruntés à des auteurs classiques, et l'explication grammaticale. Depuis des siècles, on pratique l'explication des auteurs latins ; l'université n'a eu à cet égard qu'à recueillir les méthodes des collèges de l'ancienne France et à faire fructifier cette tradition. L'explication française paraît beaucoup plus délicate et beaucoup plus difficile. On explique une phrase, comme un juriste développe les conséquences d'un article de code ou comme un théologien fait l'exégèse d'un verset, en appelant à son secours toutes les ressources de l'histoire, de l'érudition, de la critique, de la diplomatique, etc... Une bonne explication d'un texte français exige une préparation formidable. C'est en en suivant quelques-unes qu'on peut se préparer à lire avec fruit ce qu'on lit et à réussir sa rédaction aux divers concours des P.T.T..

J.-B. Pomby.



Table analytique des matieres de l'année 1925.

Postes.

Télégraphes.

REVUE DES PÉRIODIQUES.

INFORMATIONS ET VARIÉTÉS.

Téléphones.

TABLE ALPHABÉTIQUE DES NOMS D'AUTEURS.

Le Gérant,

LÉON EYROLLES.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS.

PILE FERY

A dépolarisation par l'air

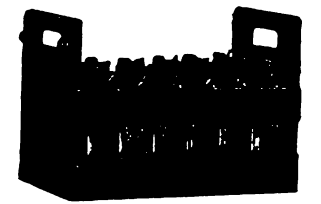
pour sonneries, télégraphes, téléphones, pendules électriques, signaux, etc.

La plus pratique

La plus économique

Entretien nul

Durée indéfinie



MODÈLES SPÉCIAUX POUR T. S. F.

Alimentation de la Tension plaque (Batteries 60/A-60/S-9/S) Maintien en charge des Accumulateurs — Chauffage du filament des nouvelles lampes " Radio-Micro" (Pile 4/S)

Notice franco sur demande

ÉTAB[TS] GAIFFE-GALLOT & PILON

SOCIÉTÉ ANONYME AU CAPITAL DE 8.000.000 DE FRS

23, Rue Casimir-Périer. PARIS (7e Arr.)

Succursales à : BORDEAUX, 67, cours de Verdun — LILLE, 8, rue Caumartin

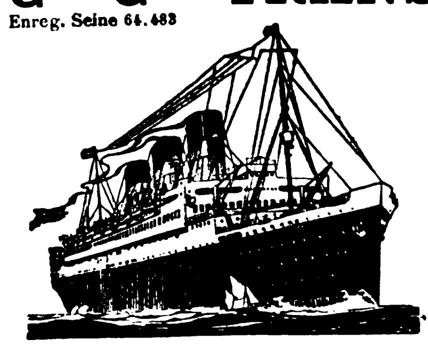
LYON, 62, rue Victor-Hugo

TÉLÉPH. FLEURUS 26-57 ET 26-58

Registre du Commerce Seine n° 70.761

C[IE] G[LE] TRANSATLANTIQUE

Enreg. Seine 64.483



Les Antilles — Le Venezuela — La Colombie — Panama — Le Pacifique : Départs réguliers du Havre, de Plymouth et de Bordeaux ou de Saint-Nazaire alternativement tous les quatorze jours.

Haïti : Dép. mensuels du Havre et de Bordeaux.

Maroc : Départs réguliers tri-mensuels de Bordeaux et de Casablanca.

Algérie-Tunisie : Nombreux départs de Marseille pour : Alger, Oran, Tunis, Bizerte, Philippeville et Bône. Départs supplémentaires pendant l'été.

SERVICES A PASSAGERS :

New-York : Départ du Havre, chaque mercredi (service postal). — Nombreux départs supplémentaires le mardi. — Escales à Plymouth par Paquebots *Paris, France*.

Canada : Départs de Bordeaux toutes les 2 semaines pour Halifax et New York.

Cuba Le Mexique : Départ postal mensuel de St-Nazaire.

Cuba Houston : Départ mensuel sur Cuba et Houston (Texas) *via* les Canaries et les ports espagnols.

SERVICES COMMERCIAUX :

États-Unis : Départs du Havre et de Bordeaux pour Boston, Baltimore, Philadelphie, Nouvelle-Orléans, Galveston, etc...

Le Mexique : Départs d'Anvers, du Havre et de Bordeaux pour La Havane, Vera Cruz-Tampico.

Les Antilles françaises et La Guyane : Départs du Havre, de Nantes et de Bordeaux.

Nord et Sud-Pacifique : Départs bi-mensuels d'Anvers, du Havre et de Bordeaux desservant les côtes du Pacifique, de l'Amérique du Nord et de l'Amérique du Sud.

Le Maroc : Départs de Rouen, du Havre, de Brest, de Nantes et de Bordeaux.

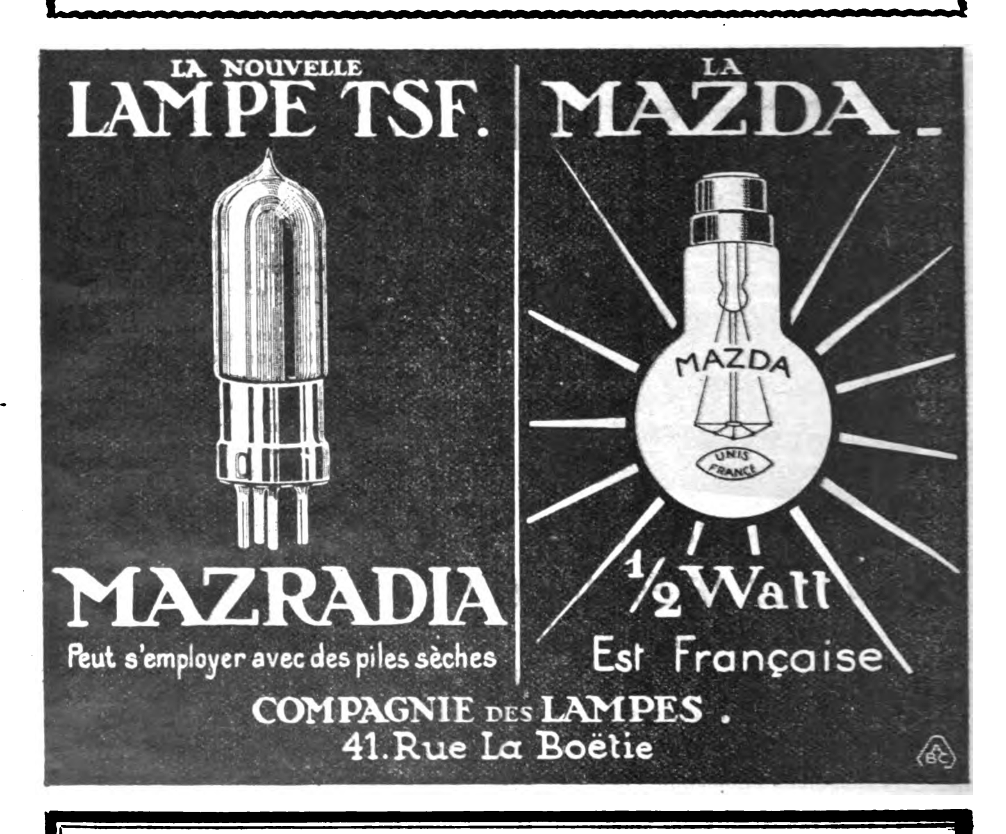
L'Algérie et la Tunisie : Départs d'Anvers, Dunkerque, Rouen, Brest, Nantes et Bordeaux.

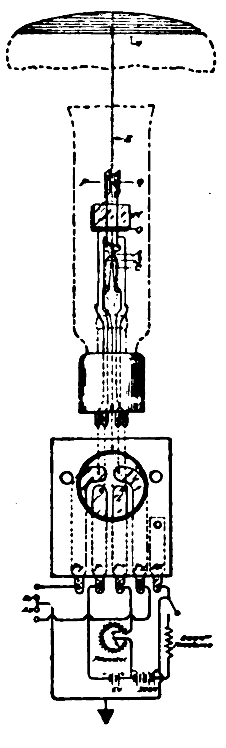
Londres et Liverpool : Départs fréquents de Nantes et de Bordeaux.

Pour tous renseignements, s'adres. : **6, rue Auber, Paris, à la C[ie] G[le] TRANSATLANTIQUE** *ou à ses Agences dans les différents ports français ou étrangers.*



Dispositif de montage sur
un récepteur à lampes
quelconque.
POUR
475F
Super 200-600
VOUS POUVEZ TRANSFORMER INSTANTANÉMENT,
VOTRE RÉCEPTEUR A LAMPES QUEL QU'IL SOIT, EN
SUPERHÉTÉRODYNE
avec le
BLOC SUPERHOTODYNE,
Brevets Français, Lucien Lévy,
ce bloc utilise le système
d'accord de votre récepteur
ETS. RADIO — L. L.
66, rue de l'Université, 66, Paris.
Notice franco.
Dispositif de montage
sur récepteur
« AUDIONETTE »
Tout bloc superhotodyne ne donnant pas satisfaction suivant les garanties détaillées stipulées sur nos devis est remboursé contre réclamation présentée dans les 30 jours.
RADIO-L.L.
66, rue de l'Université
PARIS
PUB PRATIQUE


LA NOUVELLE
LAMPE TSF.
MAZRADIA
Peut s'employer avec des piles sèches
LA
MAZDA
MAZDA
UNIS FRANCE
½ Watt
Est Française
COMPAGNIE DES LAMPES.
41. Rue La Boëtie



V. Écran fluorescent.
P. Q. Plaques déviatrices.
N. O. Plaques déviatrices.
A. Anode.
S. Diaphragme.
C. Cathode.
F. Faisceau d'électrons.

IMMÉDIATEMENT
ET
SUR PLACE

L'oscillographe cathodique type Western Electric, léger, peu encombrant, sans inertie, facile à régler, donne immédiatement, avec la plus grande précision, les diagrammes de tous les régimes électriques et magnétiques aux endroits où ces renseignements sont nécessaires.

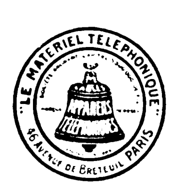
Demandez notre notice

LE MATÉRIEL TÉLÉPHONIQUE

Société Anonyme au Capital de 5.000000 de francs.

46, Avenue de Breteuil, PARIS (VIIe)

(Ancienne Maison ABOILARD et Cie)



Concessionnaire des brevets de la

Western Electric Company




ÉCOLE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS
ÉCOLE DE PLEIN EXERCICE
Reconnue par l'État
(Décret du 5 février 1921)
Externat, Maison de Famille
1.100 Élèves par an
ENSEIGNEMENT PAR Correspondance
L'École chez soi
25.000 Élèves par an
M. Léon EYROLLES (C. ✱., I.), Ingénieur-Directeur
383 COURS PROFESSÉS PAR
217 PROFESSEURS SPÉCIALISTES
PRÉPARATION SPÉCIALE
à l'École supérieure des
POSTES ET TÉLÉGRAPHES
section des
RÉDACTEURS ÉLÈVES
au concours pour l'emploi de
RÉDACTEUR
dans les services extérieurs des
Postes, Télégraphes et Téléphones
et au concours pour l'emploi
D'AGENTS MÉCANICIENS
des Télégraphes et
des Téléphones
L'ÉCOLE PUBLIE
les Cours professés
à
L'ÉCOLE SUPÉRIEURE
des
POSTES
et des
TÉLÉGRAPHES
ÉCOLE SPÉCIALE DES TRAVAUX PUBLICS
DU BATIMENT ET DE L'INDUSTRIE
L'École possède le seul Polygone d'application du Génie civil existant en France
PARIS 3, rue Thénard et 12, rue Du Sommerard
PARIS Télé. Gob. 08-65 27-70
ARCUEIL-CACHAN Près Paris
Téléphone Gob. 47-37. 25-Arcueil
ÉCOLE
de plein exercice
1° École supérieure des Travaux publics
Diplôme d'Ingénieur des Travaux publics
2° École supérieure du Bâtiment. — Diplôme d'Ingénieur-Architecte
3° École supérieure de Mécanique et d'Électricité
Diplôme d'Ingénieur-Électricien
4° École supérieure de Topographie
Diplôme d'Ingénieur-Géomètre.
Section administrative.- Préparation aux Gdes Administrations techniques notamment Ingénieur des T. P. de l'État.
Enseignement par correspondance. — L'École chez soi, créée en 1891 et appuyé sur l'École de plein exercice (les entreprises qui ont essayé de l'imiter ne lui ressemblent en rien).
Situations industrielles. — Formation et perfectionnement de tous les cadres dans : les Travaux publics, le Bâtiment, la Mécanique, l'Électricité, la Métallurgie, les Mines, la Topographie.
Situations administratives techniques dans les Administrations suivantes : Ponts et Chaussées et Mines, Postes et Télégraphes, Services Vicinaux, Services Municipaux, Génie Rural, Inspection du Travail, Travaux Publics des Colonies, Cies de Chemins de fer, Guerre et Marine, etc.
LIBRAIRIE DE L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE (M. Léon Eyrolles, Éditeur)
Éditions d'ouvrages de Choix dont certains atteignent la 19e Édition
Envoi des Brochures, Catalogues, etc., sur dem. adres. 3, rue Thénard, Paris (Ve).





FORGES & ATELIERS
DE
CONSTRUCTIONS ELECTRIQUES
DE
JEUMONT

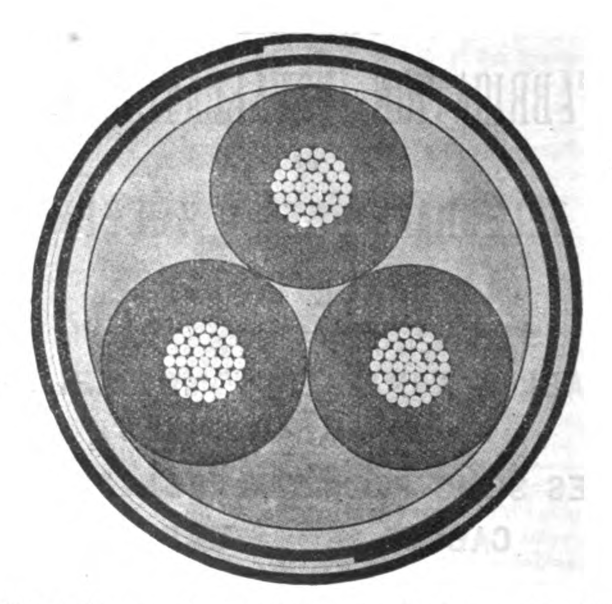
Société Anonyme au Capital de 80 Millions de Francs

SIÈGE SOCIAL : *75, Boulevard Haussmann, PARIS* (8e) R. C. Seine n° 167.217

Télégrammes : ÉLECTRICITÉ JEUMONT-NORD

DIRECTION GÉNÉRALE
à JEUMONT (Nord)

Téléphone : JEUMONT 13.36 et 66



Câble isolé au papier imprégné, sous plomb et armé 60.000v
pouvant transporter 25.000 Kw. — cos φ = 0,8

CABLES SOUTERRAINS POUR TOUTES TENSIONS

Fils et câbles isolés en caoutchouc

Câbles téléphoniques et télégraphiques compacts et à circulation d'air.

CUIVRE NU. — ACCESSOIRES DE CANALISATIONS.

GRAMMONT

Central 19-43, 21-85 — *Gutemberg* 00-54

Services Administratifs ; 10, rue d'Uzès, PARIS

Pour l'alimentation

pure et puissante

de vos hauts parleurs



Amateurs !

utilisez les nouvelles

TRIODES FOTOS

de moyenne puissance

TYPES BFO ET BFI

vous serez ravis



De la centrale
COMPAGNIE GÉNÉRALE des CABLES de LYON
418-420. Avenue Jean Jaurès
41, Rue du Pré-Gaudry - LYON
A la lampe...
Agences dans les principales villes de France et de l'étranger

CREED & C° LTD
CROYDON

TÉLÉGRAPHE RAPIDE IMPRIMEUR

fonctionnant à une vitesse de 200 mots par minute



Nouvelle Perforatrice CREED à moteur électrique

ONDULATEURS CREED A MOTEUR POUR INSCRIPTION DES TÉLÉGRAMMES TRANSMIS EN AUTOMATIQUE

TRANSMETTEURS — RELAIS — RÉCEPTEURS — IMPRIMEURS

Fournisseurs des Gouvernements Français et Etrangers.

Un ensemble complet d'émission et de réception automatique CREED fonctionne tous les jours à l'Exposition des Arts Décoratifs stand du S. S. d'État des P. T. T. N° 17 Grand Palais 1er étage.

JACQUES PÈRÈS & FILS

Agents · Exclusifs

JACPERS PARIS — 17, rue de Lancry, PARIS (Xe) — NORD 60.90

Registre du Commerce : Seine n° 116-621.

INDEX DES ANNONCES

BIBLIOTHÈQUE DES ANNALES DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES.

Les ouvrages suivants, publiés par la Bibliothèque des *Annales*, sont en vente chez les éditeurs indiqués pour chacun d'eux.

Chez A. Dumas, 8, rue de la Chaussée d'Antin, Paris (9e) :

Les dix premières années des **Annales des Postes, Télégraphes et Téléphones.** — L'année complète, prix : 14 francs. Le prix des années dont certains numéros sont épuisés sera réduit proportionnellement au nombre des numéros manquants.

Chez Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins, Paris (6e) :

De la propagation du courant télégraphique et téléphonique (*The propagation of the electric currents*, par J.-A. Fleming); traduit de l'anglais par Ravut, Ingénieur des Postes et Télégraphes (1913). — 1 vol. Prix : 24 francs.

Cours d'électricité théorique (1), par Pomey, Inspecteur général des Postes et Télégraphes (1914). — 2 vol. Tome I. Prix : 26 francs.

Introduction à la théorie des courants téléphoniques et de la radiotélégraphie, par Pomey, Inspecteur général des Postes et Télégraphes (1920). — — Tome II. Prix : 50 francs.

Analogies mécaniques de l'électricité, par Pomey, Inspecteur général des Postes et Télégraphes (1921). Prix : 15 francs.

Radiotélégraphie, Radiotéléphonie, Radioconcerts, par E. Reynaud-Bonin, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes. — 1 vol. Prix : 10 francs.

La transmission téléphonique théorique et appliquée, par Hill, traduit par G. Valensi, Ingénieur des Postes et Télégraphes. — 1 vol. Prix : 50 francs.

Chez Etienne Chiron, 40, rue de Seine, Paris (6e) :

L'Acoustique téléphonique, la Téléphonie, la Télégraphie, par E. Reynaud-Bonin, Ingénieur des Postes et Télégraphes. — 1 vol. de 185 pages et 101 figures. Prix : 8 francs.

L'Onde électromotrice. Théorie élémentaire des transmissions de courants alternatifs. Application aux liaisons téléphoniques, par L. Aguillon, Ingénieur des Postes et Télégraphes. — 1 vol. Prix : 20 francs.

Principes de calcul vectoriel et tensoriel (*École supérieure d'Électricité. Section de Radiotélégraphie*), par Pomey, Inspecteur général des Postes et Télégraphes. Prix : 30 francs.

Chez Baillière et fils, 19, rue Hautefeuille, Paris (6e) :

Appareils et installations télégraphiques (1), par E. Montoriol, Inspecteur des Postes et Télégraphes. — 1 vol. Prix : 40 francs.

Les Systèmes de Télégraphie et Téléphonie, par E. Montoriol, Inspecteur des Postes et Télégraphes. — 1 vol. Prix : 40 francs.

Appareils et installations téléphoniques (1), par E. Reynaud-Bonin, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes. — 1 vol. Prix : 50 francs.

Chez Béranger, 15, rue des Saints-Pères, Paris (6e) :

Principes de calcul vectoriel et tensoriel (*École supérieure d'Électricité. Section de Radiotélégraphie*), par Pomey, Inspecteur général des Postes et Télégraphes. Prix : 30 francs.

Les câbles télégraphiques et téléphoniques (*Telegraphen und Fernsprechkabel-Anlagen*, par Stille) ; traduit de l'allemand par Picault, Ingénieur, et E. Montoriol, Inspecteur des Postes et Télégraphes (1914). — 1 vol. in-8°. Prix : 30 francs.

Chez Dunod, 92, rue Bonaparte, Paris (6e) :

Installations téléphoniques, guide pratique à l'usage du personnel des P.T.T. et des monteurs-électriciens, par J. Schils, directeur honoraire des P.T.T., 5e éd., revue et mise à jour par C. Cornet, ingénieur en chef des P.T.T., directeur des cours aux ateliers des P.T.T. (1925). — 1 vol. in-8°. Prix : relié, 28 fr. ; broché, 22 fr.

Voir la suite au verso.

---

(1) Cours professé à l'École Supérieure des Postes et Télégraphes.

BIBLIOTHÈQUE DES ANNALES DES POSTES, TÉLÉGRAPHES ET TÉLÉPHONES.

(suite)

Les ouvrages suivants, publiés par la Bibliothèque des *Annales*, sont en vente à la librairie de l'Enseignement technique, 3, rue Thénard, Paris (5e).

Exploitation postale (1), par FERRIÈRE, Directeur des Postes et Télégraphes (1923). — 2 vol. in-8°. Tome I, 240 pages. Tome II, 306 pages. Les 2 volumes : 30 francs.

Cours d'exploitation télégraphique (1), par L. RAYNAL, ingénieur en chef des Postes et Télégraphes. — 1 vol. de 175 pages. Prix : 12 fr. 50.

Cours d'installations téléphoniques (1), par MILON, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes (1923). — 1 vol. de 400 pages et 264 figures. Prix : 35 francs.

Télégraphie et téléphonie sans fil, par VEAUX, Ingénieur des Télégraphes, (1923). — 1 vol. de 312 pages et 365 figures (en réimpression).

Principes généraux d'exploitation téléphonique (1), par MILON, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes (1925). — 1 vol. in-8° de 150 pages. Prix : 12 fr. 50.

Construction des lignes aériennes (1), par E. PICAULT, Ingénieur des Postes et Télégraphes (1925). — 1 vol. in-8° de 312 pages et 185 figures. Prix : 18 francs.

Construction des lignes souterraines (1), par E. PICAULT Ingénieur des Postes et Télégraphes (1925). — 1 vol. in-8° de 191 pages et 108 figures. Prix : 12 francs.

Cours de comptabilité et droit budgétaire (1), par FERET DU LONGBOIS, Directeur au Ministère des Finances, 1922, 3e édition. — 1 vol. in-8° de 152 pages. Prix : 10 francs.

Manuel de l'ouvrier des lignes aériennes télégraphiques et téléphoniques, 1922, par L. DROUET, Ingénieur en chef des Postes et Télégraphes, 1 vol. in-16 relié, de 254 pages et 155 figures. Prix : 12 francs.

Instruction sur l'entretien et le réglage des appareils télégraphiques (1920). — *En réimpression.*

Instruction sur l'installation des bureaux télégraphiques principaux (1919). — 1 vol. in-16, relié, 86 pages, 64 figures dont 33 planches. Prix : 6 fr. 50.

Instruction sur l'installation et l'entretien des postes téléphoniques d'abonnés (1921). — 1 vol. in-16 relié de 64 pages et 22 figures. Prix : 5 francs.

Instruction sur la protection des installations télégraphiques et téléphoniques de l'État contre les courants industriels (1918). — 1 vol. in-16 relié, 142 pages. Prix : 5 francs.

Instruction sur les essais et mesures électriques et le relèvement des dérangements de lignes et de postes (1921). — 1 vol. in-16 relié, 130 pages, 22 figures. Prix : 8 francs.

Instruction sur la construction et l'entretien des lignes aériennes, 1921. — 1 vol. in-16 relié. 346 pages, 100 figures. Prix : 12 francs.

Instruction provisoire sur la construction et l'entretien des lignes souterraines (1924). — 1 vol. in-16, relié, 260 pages, 122 figures. Prix : 15 francs.

Instruction sur la combinaison des circuits et leur appropriation à la télégraphie et à la téléphonie simultanées (1921) (2e édition). — 1 vol. in-16 relié, 26 pages, 20 figures. Prix : 3 francs.

Conférences de comptabilité industrielle et commerciale (1921), par G. VALENSI, Ingénieur des Postes et Télégraphes (2). — 1 vol. in-8°, 276 pages. Prix : 15 francs.

Cours de machines (*Machines thermiques. Automobilisme*) (1920), par SAUVAGE, Inspecteur général des Mines (1). — 1 vol. in-8°, 208 pages, 70 figures. Prix : 12 francs.

Compléments de mathématiques (1922), par B. COLLIN, Agrégé de l'Université (1). — Une brochure in-8° de 84 pages. Prix : 5 francs.

La poste militaire en France (*Campagne 1914-1919*), par A. MARTY, Inspecteur général des Postes et Télégraphes. — 1 vol. in-8°, 140 pages. Prix : 7 francs.

Cours élémentaire de Téléphonie à l'usage du personnel des bureaux téléphoniques à batterie centrale, par Louis GRELAUD, Contrôleur principal des Postes et Télégraphes. — 1 vol. autographié de 180 pages, 127 figures. Prix : 15 francs.

---

(1) Cours professé à l'École Supérieure des Postes et Télégraphes.
(2) Conférences faites à l'École Supérieure des Postes et Télégraphes.

VOIR AU RECTO.

MACON, PROTAT FRÈRES, IMPRIMEURS. — MCMXXV.